



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS EN TOPOGRAFÍA,
GEODESIA Y CARTOGRAFÍA
TITULACIÓN DE MÁSTER EN INGENIERÍA GEODÉSICA Y
CARTOGAFÍA

TRABAJO FIN DE MÁSTER

*Análisis de la distribución espacial de centros
eruptivos monogenéticos en las Islas Canarias
según el análisis de vecino más próximo de
Poisson.*

Madrid, febrero de 2015

Alumno: Bernabé Moreno Ramírez

Tutor: Juan José Rueda Núñez

Cotutora: Alicia Felpeto Rielo

Agradecimientos

Me gustaría agradecer a los profesionales del Instituto Geográfico Nacional el haberme dado la magnífica oportunidad de poder realizar este trabajo, dentro de su Institución y bajo su supervisión. En concreto, me gustaría hacer mención especial a Juan Rueda, por haber accedido a ser mi tutor académico y haber sido siempre tan amable y tan honesto. Me siento muy agradecido, y con dicha, por la atención, el trato, el conocimiento y los consejos que me ha brindado Alicia Felpeto Rielo, en paralelo a la paciencia que ha tenido para ello, no siendo cuestión fácil esta última. En esta andanza, no he podido tener mejor compañía que la de Raúl Crespo, Ana Borreguero y Héctor Lamolda, jóvenes pero grandes científicos, con una vida de éxito a la espera para ellos. No me olvido del resto del personal, cuya amabilidad y personalidad es sobresaliente.

Ha sido un tiempo de realización académica, pero también personal, en el que no sólo he podido mejorar técnica e intelectualmente, sino también como ser humano. Esto ha sido posible gracias a la labor docente de muchos de los profesores de la Universidad Politécnica de Madrid, como Antonio Vázquez Hoehne, pero ha sido también por la gran calidad de compañeros con los que he tenido el placer de compartir el máster. Mis amigos, compañeros de piso y máster, Oriol Boix, Adrián Fernández y Miguel Coto, han sido de gran apoyo e inspiración, por ser grandes ingenieros con corazón grande.

Muchas gracias a mi familia por apoyarme y posibilitarme el que haya podido realizar mis estudios con comodidad

...y no sólo gracias,
a la mujer de mi vida,
Saray Ruiz Vos.

ÍNDICE

1 Introducción	4
1.1 Justificación	4
1.2 Objetivos	5
1.3 Área de estudio	5
2 Materiales	7
2.1 Información Geográfica	7
2.2 R y bibliotecas utilizadas	7
2.2.1 R y RStudio	7
2.2.2 Paquetes y bibliotecas	8
2.2.2.1 Biobase 2.26.0	8
2.2.2.2 hydroGOF 0.3-8	8
2.2.2.3 markdown 0.7.4	8
2.2.2.4 rgdal 0.9-1	8
2.2.2.5 shapefiles 0.7	9
2.2.2.6 shiny 0.10.2.2	9
2.2.2.7 hexbin 1.27.0	9
2.3 ShinyApps	9
2.3.1 Descripción	9
3 Marco teórico	11
3.1 Análisis del vecino más próximo de Poisson	11
3.2 Cálculo de las variables para la realización del análisis PNN	12
3.3 Aplicación a la distribución de centros volcánicos y en Volcanología	14
4 Datos	15
4.1 Extracción y explotación de la información	15
5 Resultados	16
5.1 Resultados globales	16
5.2 Lanzarote	18
5.3 Fuerteventura	21
5.4 Gran Canaria	24
5.5 Tenerife	26
5.6 La Gomera	29

5.7 La Palma	32
5.8 El Hierro.....	35
6 Discusión	38
7 Conclusiones	40
Bibliografía	41
Artículos y capítulos de libro	41
Recursos electrónicos.....	43
Anexos	44
Anexo I: Cálculo de las principales variables para el análisis de vecino más próximo de Poisson en R.....	44
Anexo II: Desarrollo para Shiny Apps	53
Server.R.....	53
Ui.R.....	56
Anexo III: Tabla con los valores calculados por Le Corvec et al. (2013).....	57

1 Introducción

1.1 Justificación

Este trabajo fin de máster describe y desarrolla los resultados obtenidos durante el período de prácticas curriculares del Máster en Ingeniería Geodésica y Cartografía de la Universidad Politécnica de Madrid. Han sido llevadas a cabo en el Instituto Geográfico Nacional de España (IGN), área de Volcanología, bajo la supervisión de Alicia Felpeto Rielo y Juan José Rueda Núñez.

Entre sus competencias, el IGN es responsable de la vigilancia volcánica a nivel nacional. Para ello dispone de varias redes de vigilancia en las que emplea técnicas de monitorización geofísica y geoquímica. Cuenta con un cuerpo de investigación que estudia los fenómenos volcánicos y la mitigación del riesgo volcánico. Ha sido dentro del área de investigación donde se ha desarrollado el presente trabajo.

El estudio de la distribución de los centros volcánicos en un territorio, de forma cuantitativa, posibilita realizar una mejor interpretación de los procesos que han podido tener lugar para su aparición. Permite, además, inferir características estructurales de la litosfera que, combinado con otros métodos, ayuda a los científicos a conocer mejor la dinámica del volcanismo en su área de estudio y poder así generar escenarios a través de modelos.

El archipiélago canario es la región volcánica española que más peligros volcánicos presenta para la población. Debido a su localización y a las últimas crisis sismovolcánicas, es la que mayor atención requiere en este tipo de estudios. No sólo por la peligrosidad, sino también por la particularidad de su naturaleza y en relación con proyectos de carácter estratégico, merece toda la dedicación posible por parte de las Instituciones y de la comunidad científica.

Como parte formativa, en este trabajo se han desarrollado competencias relativas al análisis espacial, análisis estadístico, aplicaciones de los Sistemas de Información Geográfica, programación web, algorítmica numérica, visualización de la geoinformación, metodología de la investigación científica y difusión de los

resultados de investigación. A nivel personal, ha supuesto una mejora en las competencias laborales, una mejora a nivel de desarrollo cognitivo e intelectual y un acercamiento al mundo de la Volcanología desde una perspectiva institucional.

1.2 Objetivos

El objetivo principal de este trabajo es estudiar la distribución espacial de los centros eruptivos monogenéticos según el análisis de vecino más próximo de Poisson, propuesto por Clark y Evans (1954), en las Islas Canarias. Se pretende adquirir así unos valores cuantitativos que permitan interpretar si los centros eruptivos monogenéticos se distribuyen de forma aleatoria, concentrada o dispersa en cada isla. La confrontación de estos resultados con la bibliografía ayudará a interpretarlos mediante comparación.

Como objetivo secundario y parte fundamental del trabajo se presenta la necesidad y el fin de adquirir conocimientos teóricos y prácticos de análisis espacial, además de destreza en el uso de lenguajes y entornos de programación adecuados para este tipo de estudios.

Otro de los objetivos es desarrollar una aplicación que haga extensible este tipo de estudios de forma sencilla y ponga a disposición, en el caso de una publicación final, de la comunidad científica y de los usuarios a nivel universitario, una herramienta eficaz de análisis cuantitativo para hallar los índices requeridos para llevar a cabo el análisis de vecino más próximo de Poisson.

1.3 Área de estudio

Las Islas Canarias conforman un archipiélago de siete islas mayores (Fig. 1): Tenerife, Fuerteventura, Gran Canaria, Lanzarote, La Palma, La Gomera y El Hierro; cuatro islas menores: Lobos, La Graciosa, Montaña Clara y Alegranza; y varios roques. Queda comprendido entre los paralelos $27^{\circ} 37' N$ y $29^{\circ} 35' N$ (Punta de La Restinga, en El Hierro; Punta de los Mosegos, en la isla de la Alegranza) y entre los meridianos $13^{\circ} 20' W$ y $18^{\circ} 10' W$ (Roque del Este; Punta de Orchilla, en El Hierro) y se encuentra a distancias de entre 100 km y 500 km de la costa noroccidental africana. Queda englobado dentro de la región de la

Macaronesia, conjunto de cinco archipiélagos de origen volcánico situado en el Atlántico Oriental, a saber: Azores, Madeira, Salvajes, Canarias y Cabo Verde; y está limitada por los paralelos $14^{\circ} 49' N$ y $39^{\circ} 45' N$, y por los meridianos $13^{\circ} 20' W$ y $31^{\circ} 17' W$, estando separados entre sus puntos norte y sur por 2 700 km y entre sus puntos este y oeste por 1 800 km de distancia (Gosálvez et al., 2010).

Sobre el origen del archipiélago y su contexto geodinámico, se han propuesto varias hipótesis, *e.g.*: Carracedo et al. (1998), Anguita y Hernán (2000), Ancochea et al. (2006), en las que aún no queda completamente claro el origen de la Islas Canarias, ya que algunos dan un protagonismo mayor a la actividad tectónica como causante del ascenso del magma a través de la corteza y otros defienden la existencia de un punto caliente como verdadera causa del volcanismo en Canarias.

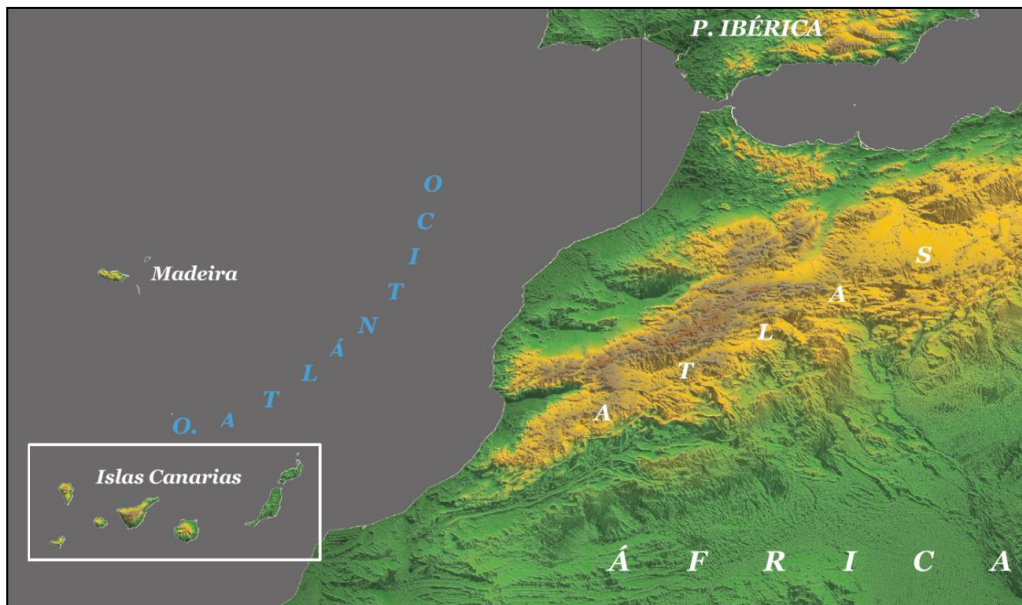


Figura 1: Localización general de las Islas Canarias.

2 Materiales

2.1 Información Geográfica

La información utilizada proviene del Sistema de consulta y difusión web de cartografía geológica continua del Instituto Geológico Minero Español¹ (IGME), cartografía continua escala 50 000 del plan GEODE, en formato vectorial. Esta información fue postprocesada dentro del IGN, hasta aislar como una capa de puntos los centros eruptivos monogenéticos de las Islas Canarias, conservando información cualitativa referente a la naturaleza geológica de cada centro.

Para la visualización de los datos se ha utilizado ArcGis 10.1. Se ha utilizado para la representación gráfica de los centros eruptivos, su geometría envolvente convexa y su densidad en celdas de 1 000 x 1 000 m.

2.2 R y bibliotecas utilizadas

2.2.1 R y RStudio

R² es un lenguaje de programación adecuado para el análisis y la visualización de datos, gratuito y extensible mediante paquetes, respaldado por la comunidad de usuarios y desarrolladores, entre ellos investigadores científicos.

Fue elegido este programa por la popularidad que está adquiriendo y la alta capacidad que demuestra a la hora de analizar conjuntos de datos. Otra razón fue el deseo de aprender un lenguaje de programación nuevo, con la ventaja de no estar sujeto a licencias que requieran el pago por uso.

Para agilizar el uso de R, se ha utilizado RStudio³, un entorno de desarrollo integrado y gratuito que permite una interacción con el software de forma similar a soluciones comerciales como Matlab, u otras libres como Octave UPM. Este entorno de desarrollo puede ser descargado libremente.

¹ <http://cuarzo.igme.es/sigeco/>

² <http://www.r-project.org/>

³ <http://www.rstudio.com/>

2.2.2 Paquetes y bibliotecas

2.2.2.1 Biobase 2.26.0

El paquete Biobase (Falcon et al., 2007) forma parte del proyecto Bioconductor (<http://www.bioconductor.org/>) de software abierto para bioinformática. Está pensado y desarrollado para trabajar con datos de genómica, pero permite utilizar sus funciones para datos de diversa naturaleza, gracias a la flexibilidad de R. Contiene la función `matchpt` (Sklyar, 2006)⁴, necesaria para encontrar el vecino más próximo a un punto utilizando la distancia euclídea, dentro de un conjunto de datos, o confrontando distintos conjuntos de datos.

2.2.2.2 hydroGOF 0.3-8

hydroGOF⁵ o Funciones de bondad de ajuste para la comparación de series temporales hidrológicas simuladas y observadas (Zambrano-Bigiarini, 2014) está desarrollado para calibrar, validar y aplicar modelos hidrológicos. Sirve también para visualizar la bondad de ajuste de los datos a un modelo teórico de forma gráfica. Se utiliza en este trabajo para representar los valores estadísticos obtenidos en el análisis de vecino más próximo de Poisson y compararlos con una región teórica de aceptación de la hipótesis de aleatoriedad en la distribución de los objetos.

2.2.2.3 markdown 0.7.4

R Markdown (Allaire et al., 2014)⁶ es un formato que permite crear documentos en formato *html* de forma sencilla. Combina la sintaxis de markdown⁷ con la posibilidad de insertar código en R, así como de ejecutarlo. Ha sido utilizado para documentar la aplicación web.

2.2.2.4 rgdal 0.9-1

RGDAL (Bivand et al., 2014) es un paquete que incorpora adaptaciones de la Geospatial Data Abstraction Library⁸. Ha sido utilizada para abrir los

⁴ <http://www.cse.unsw.edu.au/~mike/myrlibrary.old/Biobase/html/matchpt.html>

⁵ <http://cran.r-project.org/web/packages/hydroGOF/index.html>

⁶ Mantenido por Yihui Xie; <https://github.com/rstudio/markdown>

⁷ <http://daringfireball.net/projects/markdown/basics>

⁸ <http://cran.r-project.org/web/packages/rgdal/index.html>

shapefiles que contienen almacenados como eventos los centros volcánicos cartografiados.

2.2.2.5 shapefiles 0.7

El paquete shapefiles⁹ (Stabler, 2013) contiene funciones para leer y escribir archivos en formato *ESRI Shapefiles*. Es utilizado para abrir las tablas de atributos de las capas de puntos utilizadas para realizar el análisis.

2.2.2.6 shiny 0.10.2.2

Shiny (RStudio, Inc.; 2014)¹⁰ es un paquete desarrollado para el desarrollo de aplicaciones basadas en R. Permite trabajar con aplicaciones en local y publicarlas en web mediante ShinyApps.

2.2.2.7 hexbin 1.27.0

Hexagonal Binning Routines¹¹ (Carr, 2014) ha sido utilizado para representar mediante celdas hexagonales el territorio de las Islas Canarias, representando el número de volcanes por celda mediante colores, para la visualización de los datos en la aplicación *web*.

2.3 ShinyApps

2.3.1 Descripción

ShinyApps¹² es una plataforma como servicio (PaaS) que aloja aplicaciones web desarrolladas con R y Shiny. En su versión gratuita, permite al usuario el alojamiento de diez aplicaciones en una sola instancia que, por defecto, permite utilizar 256 mb de memoria y 50 horas de actividad.

Para su funcionamiento se utiliza junto con el paquete shinyapps (Allaire, 2013), que permite subir y actualizar las aplicaciones desde R, y junto con shiny (RStudio, Inc.; 2014) que permite lanzar las aplicaciones en local, comprobando así su funcionamiento sin necesidad de agotar recursos en red.

⁹ <http://cran.r-project.org/web/packages/shapefiles/shapefiles.pdf>

¹⁰ Mantenido por Winston Chang; <http://shiny.rstudio.com>

¹¹ <http://cran.r-project.org/web/packages/hexbin/index.html>

¹² <https://www.shinyapps.io/>

Esta plataforma está creada por el equipo de RStudio y su uso es abierto, aunque con restricciones. El mismo equipo pone a disposición del público numerosos ejemplos¹³ así como también lo hacen otras páginas¹⁴. Puede accederse también a multitud de *widgets* y opciones que hacen que las aplicaciones ganen en usabilidad¹⁵.

Es una buena herramienta para iniciarse en el desarrollo de aplicaciones, debido a su facilidad de uso, a su gratuidad y a su alto potencial.

Para su funcionamiento, se requieren dos *scripts*. El *script* «server.R» es el script que envía las instrucciones a realizar por parte del servidor. Debe contener el código en R que se va a ejecutar y las instrucciones necesarias para producir la salida deseada, por ejemplo, en forma gráfica o tabulada. El *script* «ui.R» define como se estructurará la interfaz de usuario de la aplicación y dónde se situarán los resultados del código ejecutado por parte del servidor. Además, pueden añadirse otros scripts, como los escritos en *markdown*, para la documentación y la descripción de las aplicaciones. Puede verse el código utilizado en el Anexo II de este trabajo.

La aplicación puede utilizarse en:

<https://bmgeo.shinyapps.io/PoissonNNprueba/>

¹³ <http://shiny.rstudio.com/gallery/>

¹⁴ <http://www.showmeshiny.com/>

¹⁵ <http://shiny.rstudio.com/reference/shiny/latest/>

3 Marco teórico

3.1 Análisis del vecino más próximo de Poisson

Clark y Evans (1954) publicaron un método para cuantificar la desviación de la aleatoriedad de una distribución espacial, utilizando el análisis de vecino más próximo de Poisson. Para ese propósito, utilizaron dos estadísticos: R y c . El primero, R , sirve para medir la desviación de la aleatoriedad de una distribución espacial; mientras que el segundo, c , es un test convencional para medir la aleatoriedad en la distribución (Clark y Evans, 1954; Baloga et al., 2007; Beggan y Hamilton, 2010; Hamilton et al., 2010; Le Corvec et al., 2013). Si el estadístico R resulta 1, la distribución observada podrá ser interpretada como aleatoria; si R resulta 0, podría interpretarse que las condiciones de la distribución son de máxima agregación (Clark y Evans, 1954). Para hallar estos estadísticos, es necesario obtener los valores de algunas variables (tabla 1).

Tabla 1. Principales variables utilizadas en el análisis de vecino más próximo de Poisson. Adaptado de Baloga et al. (2007).

Variable	Notación	Descripción
N	N	Número de objetos
Radio	r_i	Distancia desde un objeto a su vecino más próximo
Área	A	Área ocupada por los objetos espaciales
Densidad	ρ_o	Densidad especial de los objetos espaciales
Distancia media al vecino más próximo	\bar{r}_a	Distancia media observada al vecino más próximo
Error típico de la media	σ_e	Error típico de la media
Distancia media esperada al vecino más próximo	\bar{r}_e	Distancia media esperada al vecino más próximo
R	R	Estadístico para comparar los valores medios observados y esperados
c	c	Estadístico para comparar los valores medios observados y esperados

Para interpretar los resultados de forma gráfica, los valores obtenidos deben ser representados y confrontados con los valores de R y c esperados para una

distribución aleatoria con unos límites de aceptación de $\pm 2\sigma$, ó más / menos dos veces la desviación típica (Clark y Evans, 1954; Baloga et al., 2007; Beggan y Hamilton, 2010; Hamilton et al., 2010; Le Corvec et al., 2013). Los valores de desviación típica han sido obtenidos de los resultados calculados por Le Corvec et al. (2013) (anexo III). Si R y c se encontraran dentro de los límites de aceptación, la distribución sería consistente con el modelo de Poisson, o sea, aleatoria; cuando c queda representado fuera de los límites de aceptación, y el valor de R es menor que el límite marcado por -2σ , se interpreta que la distribución podría ser agregada; cuando c queda representado fuera de los límites de aceptación, y el valor de R es mayor que el límite marcado por $+2\sigma$, podría interpretarse que la distribución es dispersa; si c queda representado dentro de los límites y R queda fuera de ellos, los resultados no pueden ser interpretados y puede ser debido a la falta de observaciones (Hamilton et al., 2010; Le Corvec et al., 2013).

Este método ha sido empleado principalmente en Biología, Ecología y Geografía, *e.g.*: Clark y Evans (1954), Perry et al. (2006).

3.2 Cálculo de las variables para la realización del análisis PNN

Una de las variables utilizadas más importantes para realizar este análisis, es la densidad - ρ_o - de objetos espaciales (Baloga et al., 2007). Para calcular la densidad es necesario el número de objetos y el tamaño del área en la cual se localizan (ec. 1).

$$\rho_o = N/A \quad \text{Ecuación 1}$$

El área - A - se obtiene mediante el cálculo de la envolvente convexa, es decir, la geometría convexa que encierra todos los objetos espaciales puntuales estudiados, con menor área o perímetro posible, utilizando los objetos más externos como vértices¹⁶. Una vez obtenida esta geometría, se calcula su área.

Para calcular la distancia media observada entre cada punto y su vecino más próximo (ec. 2) - \bar{r}_a - la cual se calcula dividiendo el sumatorio de los radios - r_i -

¹⁶ <http://www4.ujaen.es/~lidia/aprendeGC/tema2.html>

o la distancia entre cada punto y su vecino más próximo, por el número de objetos espaciales (Clark y Evans, 1954).

$$\bar{r}_a = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N r_i \quad \text{Ecuación 2}$$

Para calcular los estadísticos R y c , es necesario calcular la distancia media esperada entre cada punto y su vecino más próximo, \bar{r}_e , para una serie de datos con una densidad dada (ec. 3), si la distribución fuera aleatoria (Clark y Evans, 1954).

$$\bar{r}_e = \frac{1}{2\sqrt{\rho_o}} \quad \text{Ecuación 3}$$

Una vez obtenido el valor observado y esperado de la distancia media, puede calcularse el estadístico R (ec. 4), dividiendo la distancia media observada por la distancia media esperada de cada punto a su vecino más próximo (Clark y Evans, 1954).

$$R = \bar{r}_a / \bar{r}_e \quad \text{Ecuación 4}$$

Para obtener el estadístico c , es necesario calcular el error típico de la media, σ_e (ec. 5).

$$\sigma_e = \frac{0.26136}{\sqrt{N\rho_o}} \quad \text{Ecuación 5}$$

El valor del estadístico c se obtendrá dividiendo la diferencia entre la distancia media observada y la esperada, por el error típico de la media (ec. 6).

$$c = \frac{\bar{r}_a - \bar{r}_e}{\sigma_e} \quad \text{Ecuación 6}$$

3.3 Aplicación a la distribución de centros volcánicos y en Volcanología

Baloga et al. (2007) aplicaron el análisis de vecino más próximo de Poisson al estudio de edificios de naturaleza volcánica en Marte y en Mauna Ulu, Hawaii. Propusieron tres extensiones alternativas al análisis clásico de vecino más próximo de Poisson: *renormalizado*, *limpiado (scavenged)* y *logístico*. Realizaron un análisis detallado de las propiedades de las distribuciones, así como, también, varias simulaciones numéricas para obtener valores ideales de los estadísticos y sus desviaciones.

Beggan y Hamilton (2010) no sólo aplicaron el análisis, en su caso para analizar la aparición de vesículas en rocas, sino también desarrollaron una aplicación de escritorio, GIAS¹⁷, basada en Matlab, para poder realizar el análisis de vecino más próximo de Poisson, según los métodos propuestos por Baloga et al. (2007).

Hamilton et al. (2010) aplicaron el análisis de vecino más próximo de Poisson y los métodos propuestos por Baloga et al. (2007), entre otras técnicas de análisis espacial, como el análisis de celdas de Voronoi, al estudio de la distribución de los conos sin raíz que se desarrollaron durante la erupción de 1 783 – 1 784 del volcán Laki, Islandia, y también para la distribución de centros volcánicos en Marte.

Le Corvec, et al. (2013) aplica el análisis de vecino más próximo de Poisson, utilizando la aplicación desarrollada por Beggan y Hamilton (2010), a 34 campos volcánicos basálticos monogenéticos, creando así una base de datos utilizable en otras investigaciones similares, ofreciendo sus resultados al público. Este estudio fue el primero utilizado en el presente trabajo, para intentar reproducir el análisis de la distribución de centros volcánicos en las Islas Canarias.

¹⁷ <http://www.geoanalysis.org/index.html>

4 Datos

4.1 Extracción y explotación de la información

A través de ArcGis, fueron extraídas las coordenadas de los puntos que representaban a los centros eruptivos monogenéticos en las Islas Canarias. Los centros eruptivos fueron obtenidos a través del postprocesado de los datos espaciales disponibles del IGME. Los datos originales no representaban la información geográfica sólo mediante puntos, sino también mediante líneas, polilíneas y polígonos. Con las herramientas contenidas en ArcGis y con apoyo de ortofotografías y modelos digitales del terreno, pudieron representarse los centros de emisión mediante objetos geográficos puntuales.

Fueron eliminados los centros eruptivos del Sistema Central de Tenerife, puesto que pertenecen al complejo Teide-Pico Viejo cuya naturaleza sería poligenética al tratarse de un estratovolcán.

Los datos resultantes fueron exportados a un nuevo *shapefile* cuya tabla de atributos contendría las coordenadas de los puntos, con proyección UTM-WGS84 28N, código EPSG: 32628. Posteriormente, para el desarrollo de la aplicación, las coordenadas fueron almacenadas en un archivo de texto de valores separados por comas (CSV), en dos columnas «x» e «y».

Para obtener los valores de las variables, se utilizó el programa R y los códigos implementados pueden ser consultados en los anexos I y II.

5 Resultados

5.1 Resultados globales

Los valores de los principales índices estadísticos pueden verse en la tabla 2 y quedan representados los valores de los estadísticos R y c de cada isla en las figuras 2 y 3, utilizando los valores calculados por Le Corvec et al. (2013) (anexo III).

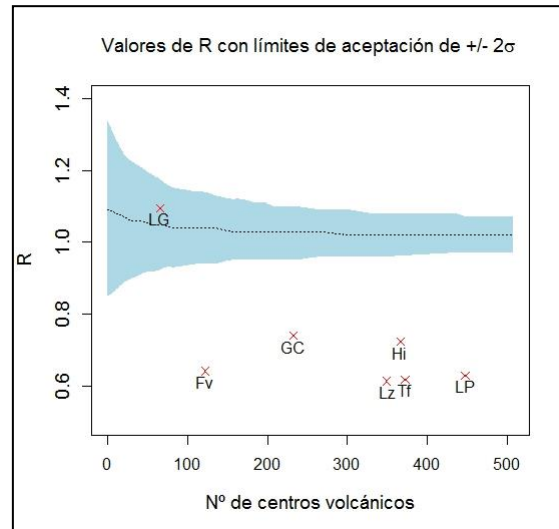


Figura 2: Representación del estadístico R de La Gomera (LG), Fuerteventura (Fv), Gran Canaria (GC), Lanzarote (Lz), El Hierro (Hi), Tenerife (Tf) y La Palma (LP) y el intervalo de confianza para aceptar el modelo de distribución de Poisson.

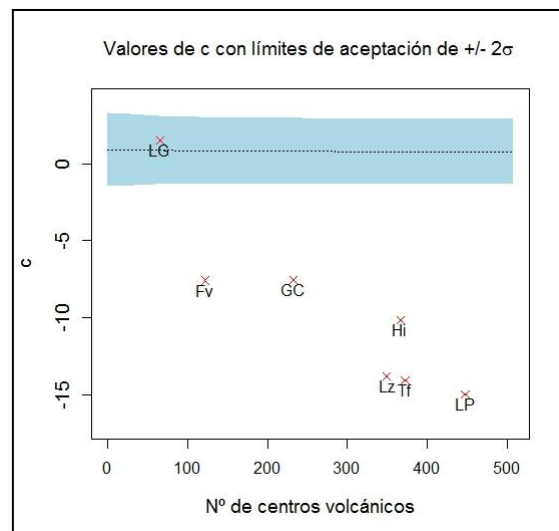


Figura 3: Representación del estadístico c de La Gomera (LG), Fuerteventura (Fv), Gran Canaria (GC), Lanzarote (Lz), El Hierro (Hi), Tenerife (Tf) y La Palma (LP) y la región de confianza para aceptar el modelo de distribución de Poisson.

Tabla 2: Resultados estadísticos del análisis del vecino más próximo de Poisson para los centros de emisión volcánicos monogenéticos de las Islas Canarias.

Isla	N	A (m²)	ρ_o	\bar{r}_a (m)	σ_e	\bar{r}_e (m)	R	c
Lanzarote	349	859598903	4.06E-07	481	21.96	784	0.61	-13.80
Fuerteventura	122	2004879191	6.09E-08	1299	95.92	2026	0.64	-7.58
Gran Canaria	232	1310599305	1.77E-07	880	40.78	1188	0.74	-7.55
Tenerife	372	2324357297	1.60E-07	773	33.87	1249	0.62	-14.08
La Gomera	66	232198371	2.84E-07	1027	60.34	937	1.09	1.49
La Palma	447	697658752	6.41E-07	393	15.44	624	0.63	-14.98
El Hierro	366	332087704	1.10E-06	344	13.01	476	0.72	-10.13

Los resultados gráficos (fig. 2 y 3) y numéricos (tabla 2) muestran unos valores de los estadísticos R y c , en general, negativos y fuera del intervalo de confianza de $\pm 2\sigma$. Por lo tanto, estos resultados se corresponderían con una distribución espacial concentrada que, en principio, descartaría el modelo de distribución aleatoria de los objetos espaciales analizados.

La excepción, entre las poblaciones estudiadas, corresponde a los valores calculados para la isla de La Gomera, cuyos valores se encuentran dentro de la región de confianza para la aceptación de la hipótesis de aleatoriedad en la distribución de los objetos espaciales. Sin embargo, estos valores podrían no ser representativos, debido a la falta de datos. Serán tratados estos resultados en detalle más adelante.

Comparando con los resultados obtenidos por Le Corvec et al (2013), en su análisis realizado para 37 campos de volcanes monogenéticos, se observa que los resultados obtenidos en las Islas Canarias no difieren demasiado de los valores obtenidos en su estudio para otras regiones de características similares, en cuanto a número de centros de emisión y superficie. En su análisis, Le Corvec et al (2013) obtienen que un 76 % de los campos de volcanes estudiados tienen unos

valores de los estadísticos R y c por debajo del límite de -2σ , implicando que $\frac{3}{4}$ de los campos volcánicos monogenéticos que estudiaron presentan una distribución de sus centros de emisión concentrada, en relación al modelo de Poisson; también obtuvieron que un 19 % de las distribuciones en los campos de volcanes que estudiaron se ajustaban al modelo de Poisson y sólo un 5 % mostraba una distribución más dispersa que el modelo de Poisson.

5.2 Lanzarote

La tabla 3 resume los valores calculados para la isla de Lanzarote. La distancia media observada entre cada centro de emisión y su vecino más próximo es 300 m menor que la distancia media esperada, indicando que los objetos se encuentran más agrupados entre sí de lo que cabría esperar para un conjunto de 349 objetos en un área de $\sim 800 \text{ km}^2$. El estadístico R calculado tiene un valor de 0.614 y su estadístico c de -13.805, encontrándose ambos valores por debajo del valor de -2σ (figuras 2 y 3), indicando que la distribución de los centros eruptivos dentro de su envolvente convexa es concentrada en relación con el modelo de Poisson.

Tabla 3: Resultados estadísticos del análisis del vecino más próximo de Poisson para los centros de emisión volcánicos monogenéticos de Lanzarote.

Isla	N	$A \text{ (m}^2\text{)}$	ρ_o	R	c	Distribución
Lanzarote	349	859598903	4.06E-07	0.61	-13.80	Concentrada

En la figura 4 se muestra la localización de cada centro eruptivo cartografiado en la isla de Lanzarote y la envolvente convexa para el conjunto de centros eruptivos. Puede observarse como existe un mayor número de centros en la parte sudoccidental de la isla, pudiéndose apreciar una mayor densidad de centros eruptivos coincidente con esa zona (figura 5).

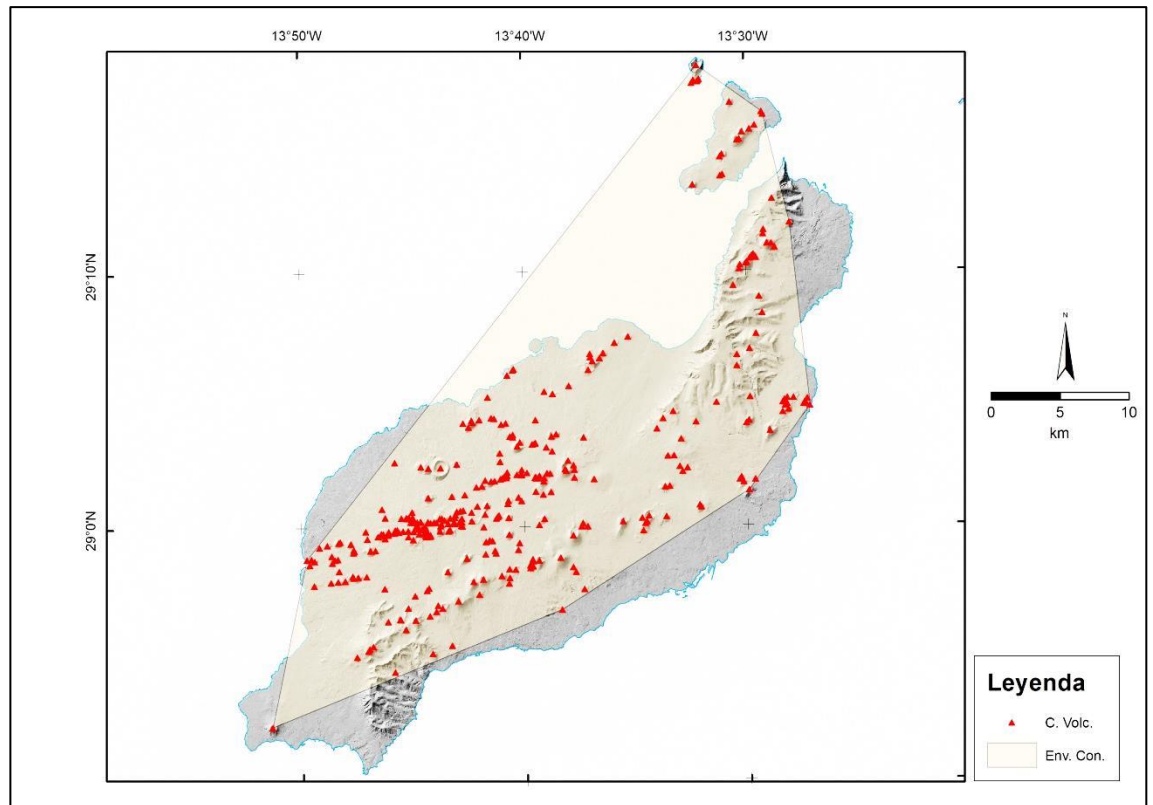


Figura 4: Localización de los centros eruptivos en la isla de Lanzarote (triángulos) y su geometría envolvente convexa (polígono). Capa base: Grafcan.

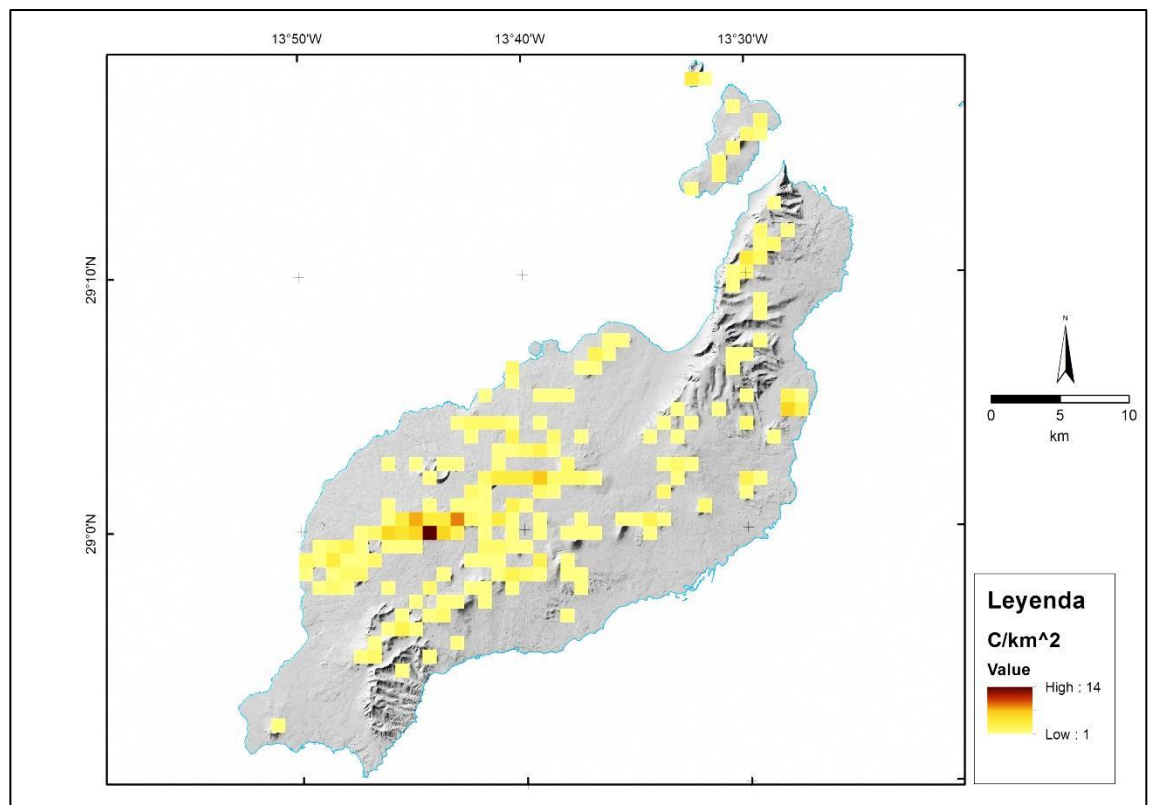


Figura 5: Densidad espacial de centros eruptivos en la isla de Lanzarote. Celdas de 1 km².

Esta zona con mayor densidad de centros eruptivos se corresponde geográficamente con el área de Timanfaya y del volcanismo reciente de Lanzarote (González, et al.; 2013) (figura 6).

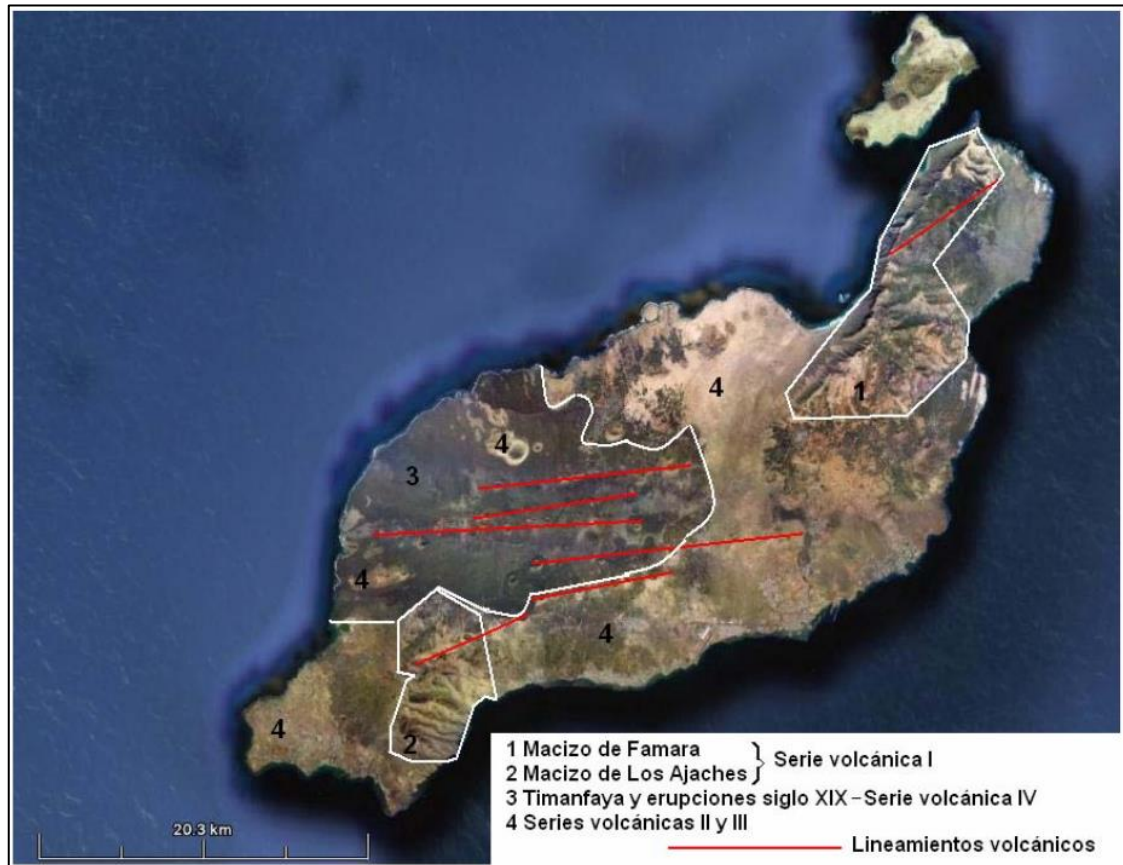


Figura 6: Unidades estructurales de Lanzarote (González et al., 2013).

5.3 Fuerteventura

La tabla 4 muestra los valores calculados para la isla de Fuerteventura. La distancia media observada entre cada centro de emisión y su vecino más próximo es ~ 700 m menor que la distancia media esperada, indicando que los objetos se encuentran más agrupados entre sí de lo que cabría esperar para un conjunto de 122 objetos en un área de $\sim 2\,000$ km². El estadístico R calculado tiene un valor de 0.641 y su estadístico C de -7.58 , encontrándose ambos valores por debajo del valor de -2σ (figuras 2 y 3), indicando que la distribución de los centros eruptivos dentro de su envolvente convexa es concentrada en relación con el modelo de Poisson.

Tabla 4: Resultados estadísticos del análisis del vecino más próximo de Poisson para los centros de emisión volcánicos monogenéticos de Fuerteventura.

Isla	N	A (m ²)	ρ_o	R	C	Distribución
Fuerteventura	122	2004879191	6.09E-08	0.64	-7.58	Concentrada

En la figura 7 se muestra la localización de cada centro eruptivo cartografiado en la isla de Fuerteventura y la envolvente convexa para el conjunto de centros eruptivos. Puede observarse como existe una mayor concentración de centros en la parte nororiental de la isla, pudiéndose apreciar una mayor densidad de centros eruptivos coincidente con esa zona (figura 8).

Esta zona con mayor densidad de centros eruptivos se corresponde geográficamente con el área del volcanismo más reciente de la isla como muestra la figura 9.

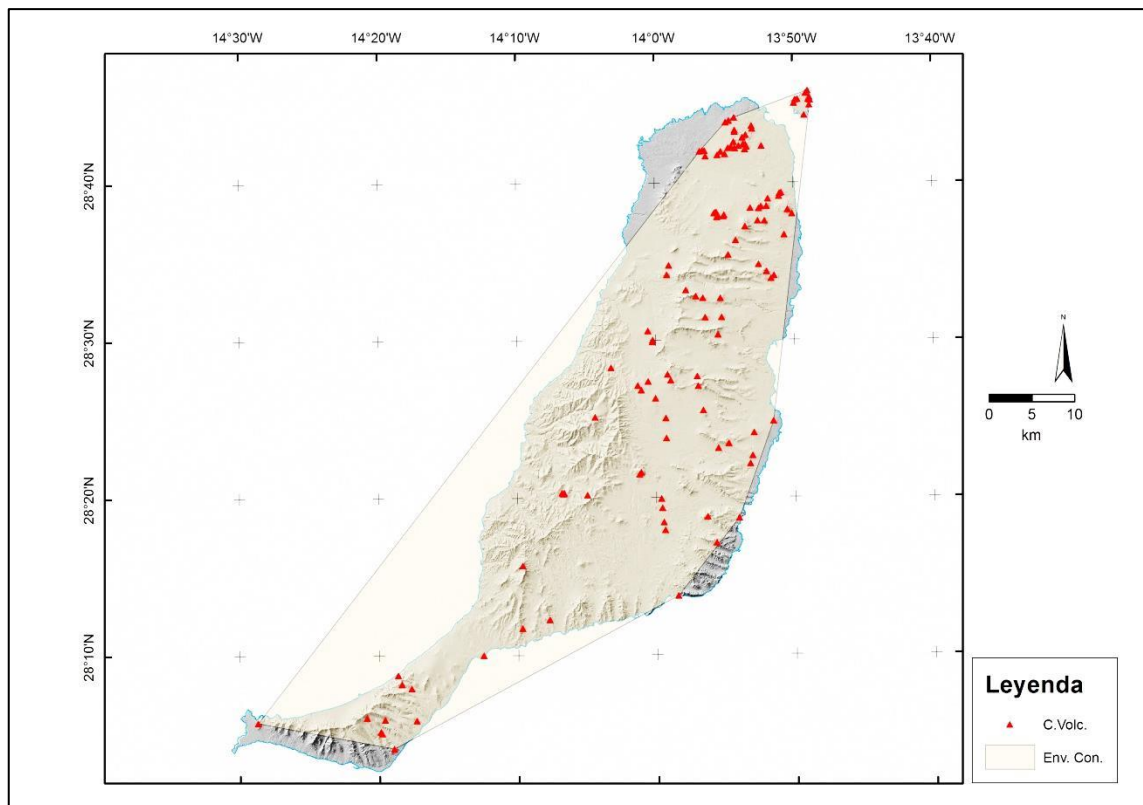


Figura 7: Localización de los centros eruptivos en la isla de Fuerteventura (triángulos) y su geometría envolvente convexa (polígono). Capa base: Grafcan.

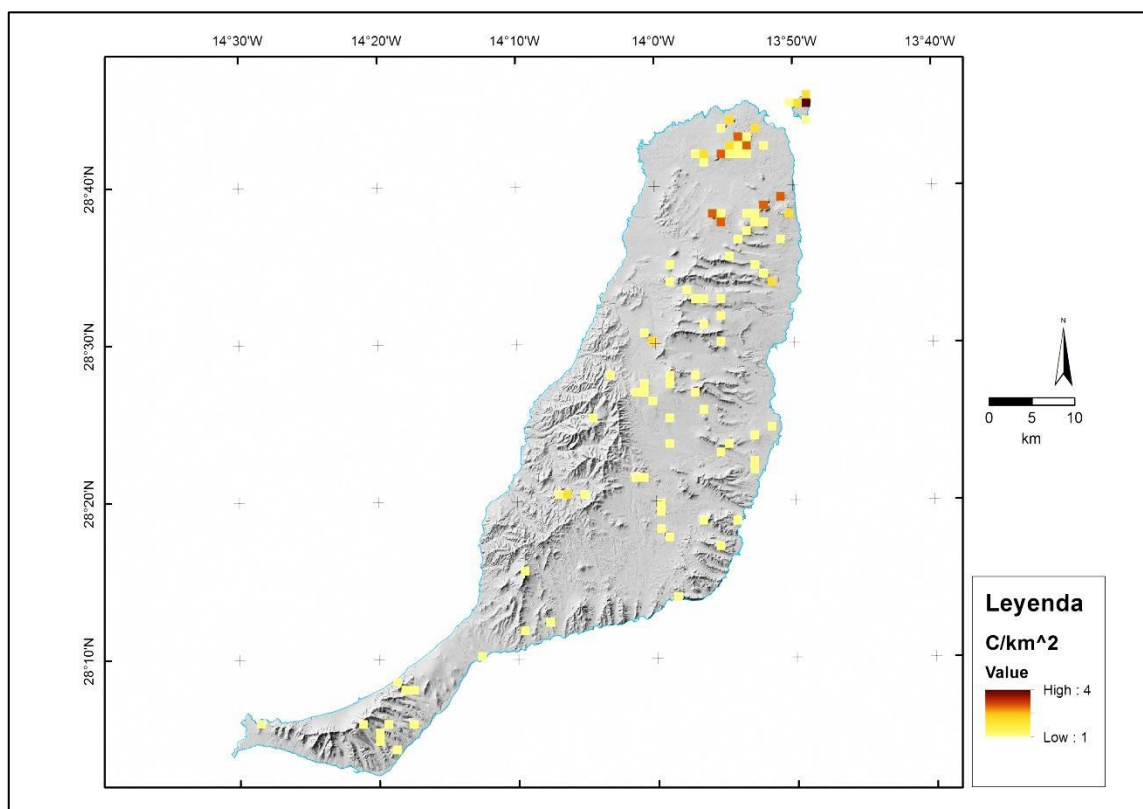


Figura 8: Densidad espacial de centros eruptivos en la isla de Fuerteventura. Celdas de 1 km².

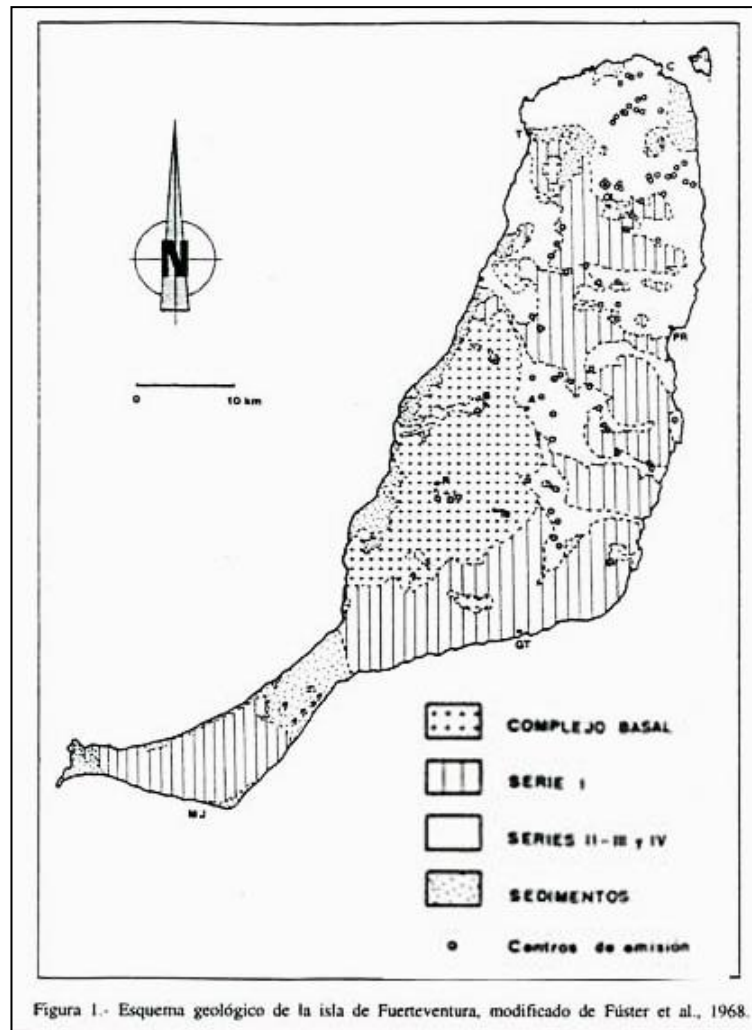


Figura 9: Unidades estructurales de Fuerteventura. Gentileza de Asociación Viera y Clavijo¹⁸.

5.4 Gran Canaria

La tabla 5 muestra los valores calculados para la isla de Gran Canaria.

Tabla 5: Resultados estadísticos del análisis del vecino más próximo de Poisson para los centros de emisión volcánicos monogenéticos de las Gran Canaria.

Isla	N	A (m²)	ρ_o	R	c	Distribución
Gran Canaria	232	1310599305	1.77E-07	0.74	-7.55	Concentrada

La distancia media observada entre cada centro de emisión y su vecino más próximo es ~ 300 m menor que la distancia media esperada, indicando que los objetos se encuentran más agrupados entre sí de lo que cabría esperar para un conjunto de 232 objetos en un área de $\sim 1\,300$ km². El estadístico R calculado tiene un valor de 0.741 y su estadístico c de -7.55 , encontrándose ambos valores por debajo del valor de -2σ (figuras 2 y 3), indicando que la distribución de los centros eruptivos dentro de su envolvente convexa es concentrada en relación con el modelo de Poisson.

En la figura 10 se muestra la localización de cada centro eruptivo cartografiado en la isla de Gran Canaria y la envolvente convexa para el conjunto de centros eruptivos. Puede observarse como existe una mayor concentración de centros en la mitad nororiental de la isla, pudiéndose apreciar una mayor densidad de centros eruptivos al este de la isla (figura 11).

Esta zona con mayor densidad de centros eruptivos se corresponde geográficamente con el área del volcanismo más reciente de la isla como muestra la figura 12.

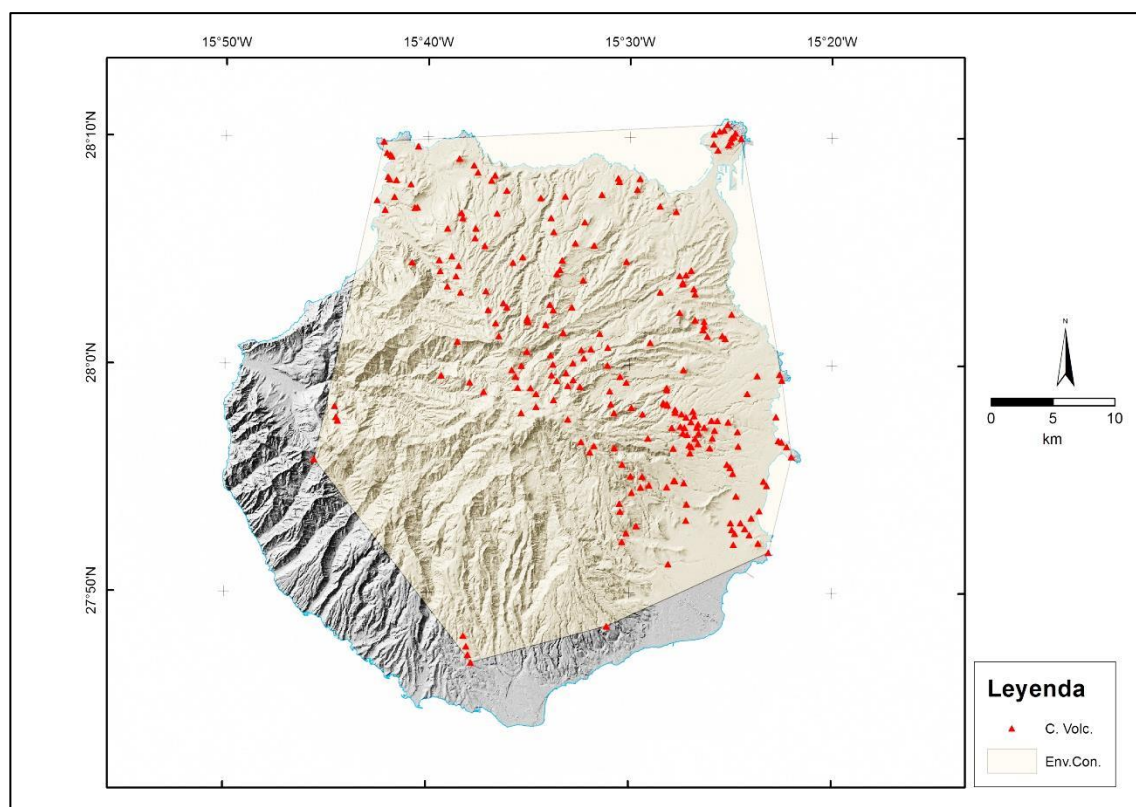


Figura 10: Localización de los centros eruptivos en la isla de Gran Canaria (triángulos) y su geometría envolvente convexa (polígono). Capa base: Grafcan.

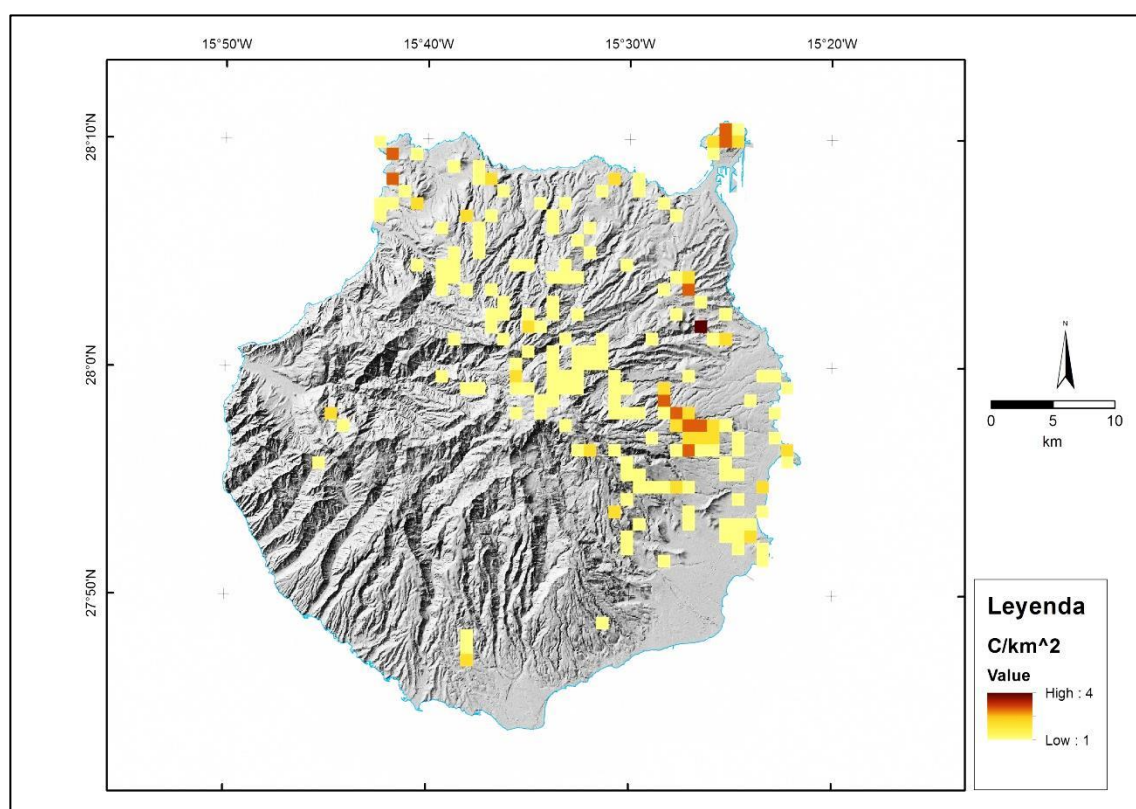


Figura 11: Densidad espacial de centros eruptivos en la isla de Gran Canaria. Celdas de 1 km².

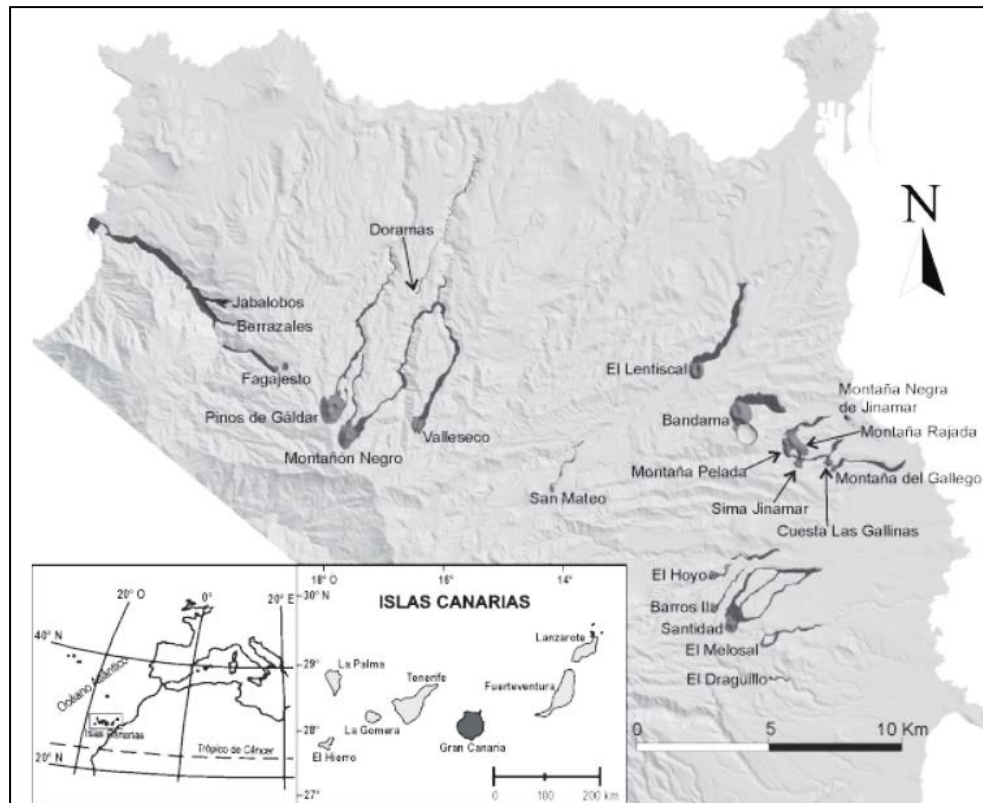


Figura 12: volcanismo holoceno de la isla de Gran Canaria (Rodríguez et al., 2007).

5.5 Tenerife

La tabla 6 muestra los valores calculados para la isla de Tenerife. La distancia media observada entre cada centro de emisión y su vecino más próximo es unos 500 m menor que la distancia media esperada, indicando que los objetos se encuentran más agrupados entre sí de lo que cabría esperar para un conjunto de 372 objetos en un área de $\sim 2\,300\text{ km}^2$. En la figura 13 puede observarse la localización de los centros eruptivos monogenéticos y su envolvente convexa y en la figura 14 la densidad de centros eruptivos en la isla de Tenerife.

Tabla 6: Resultados estadísticos del análisis del vecino más próximo de Poisson para los centros de emisión volcánicos monogenéticos de Tenerife.

Isla	N	$A\text{ (m}^2\text{)}$	ρ_o	R	c	Distribución
Tenerife	372	2324357297	1.60E-07	0.618	-14.077	Concentrada

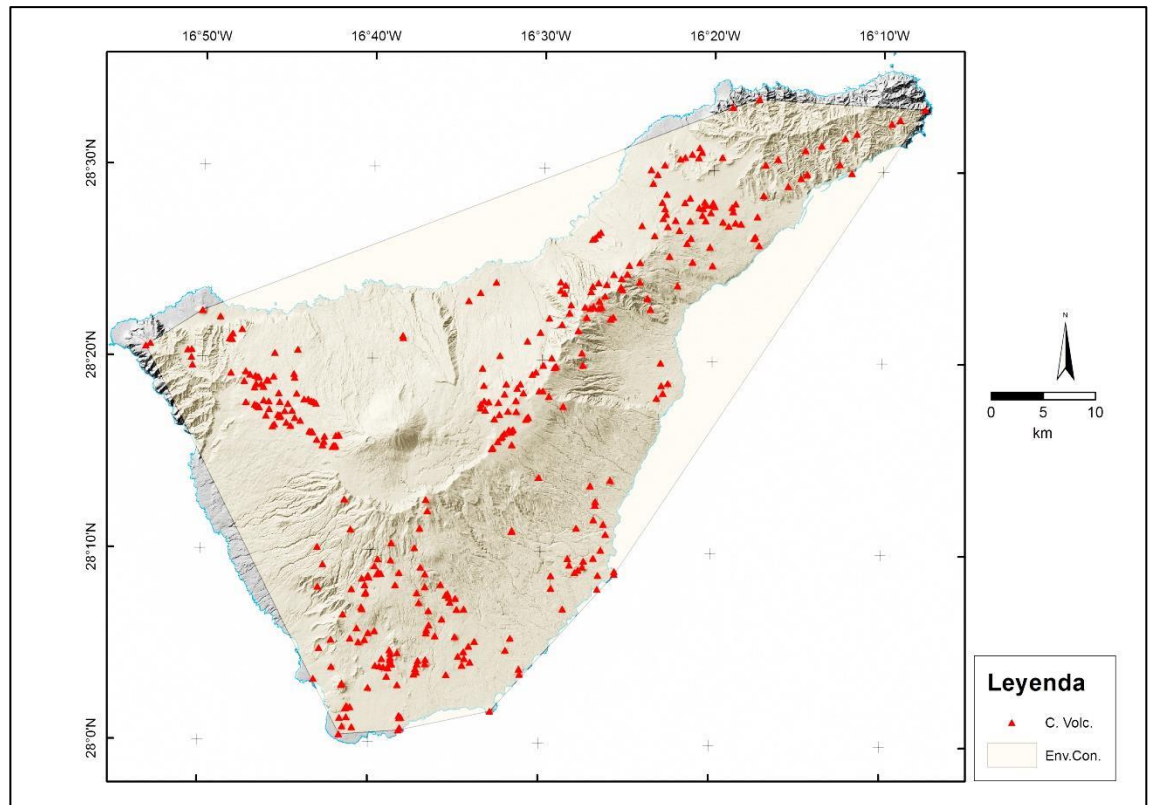


Figura 13: Localización de los centros eruptivos en la isla de Tenerife (triángulos) y su geometría envolvente convexa (polígono). Capa base: Grafcan.

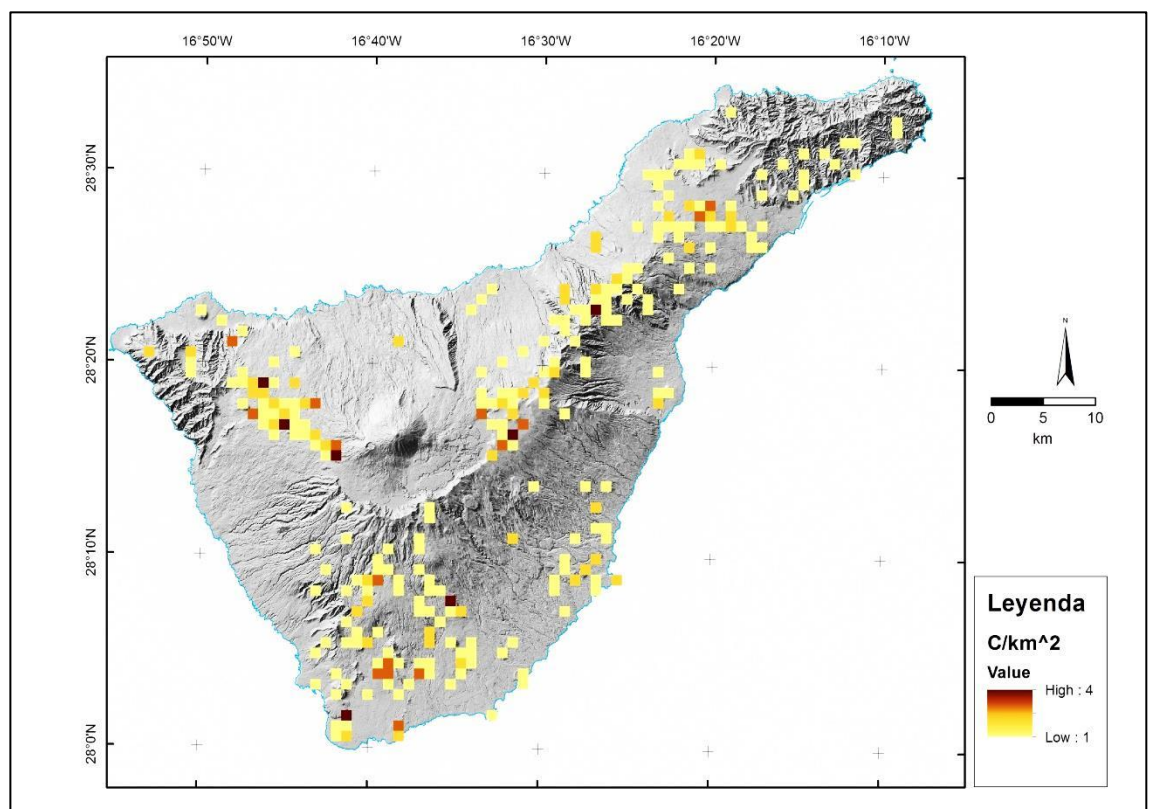


Figura 14: Densidad espacial de centros eruptivos en la isla de Tenerife. Celdas de 1 km².

El estadístico R calculado tiene un valor de 0.618 y su estadístico c de -14.077 , encontrándose ambos valores por debajo del valor de -2σ (figuras 2 y 3), indicando que la distribución de los centros eruptivos dentro de su envolvente convexa (fig. 13) es concentrada en relación con el modelo de Poisson.

Estas zonas con mayor densidad de centros eruptivos (fig. 15) se corresponden geográficamente con los campos de volcanes, exceptuando el *Campo Volcánico Pico Viejo-Teide*, propuestos por Dóniz (2011), a saber: *Campo Volcánico Pedro Gil*, al nordeste de la isla; *Campo Volcánico San Lorenzo-Las Galletas*, al sur de la isla; *Campo Volcánico de Teno*, al noroeste de la isla.

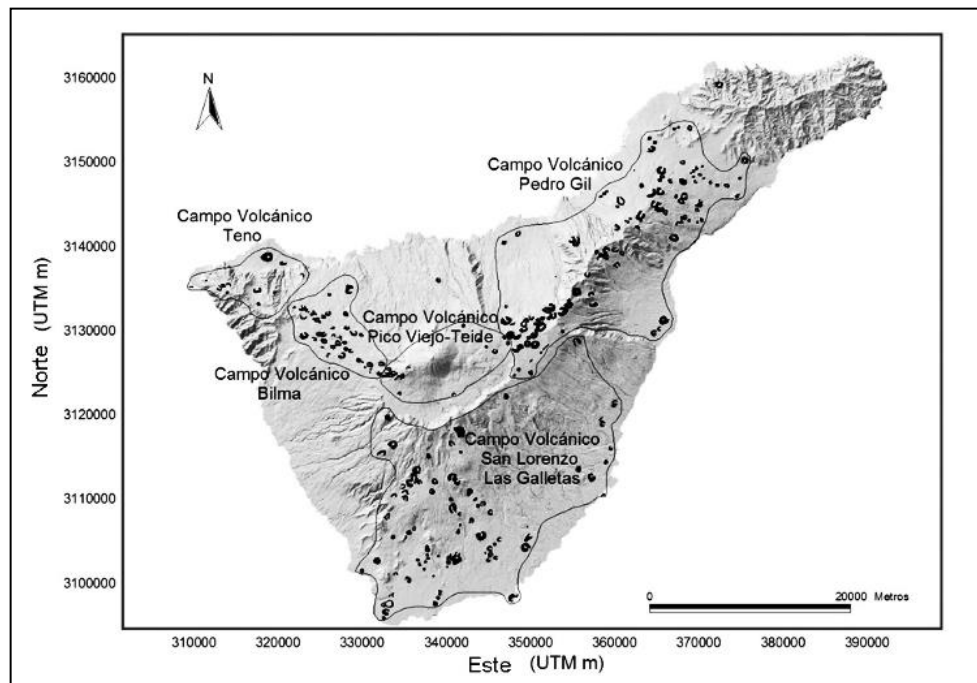


Figura 15: Campos de volcanes de la isla de Tenerife (Dóniz, 2011).

Coinciden también las zonas de mayor densidad de centros eruptivos monogenéticos con el área de la zona volcánica del sur de Tenerife y los ejes de las dorsales propuestas por varios autores, *e.g.*: Geyer y Martí (2010) (fig. 16).

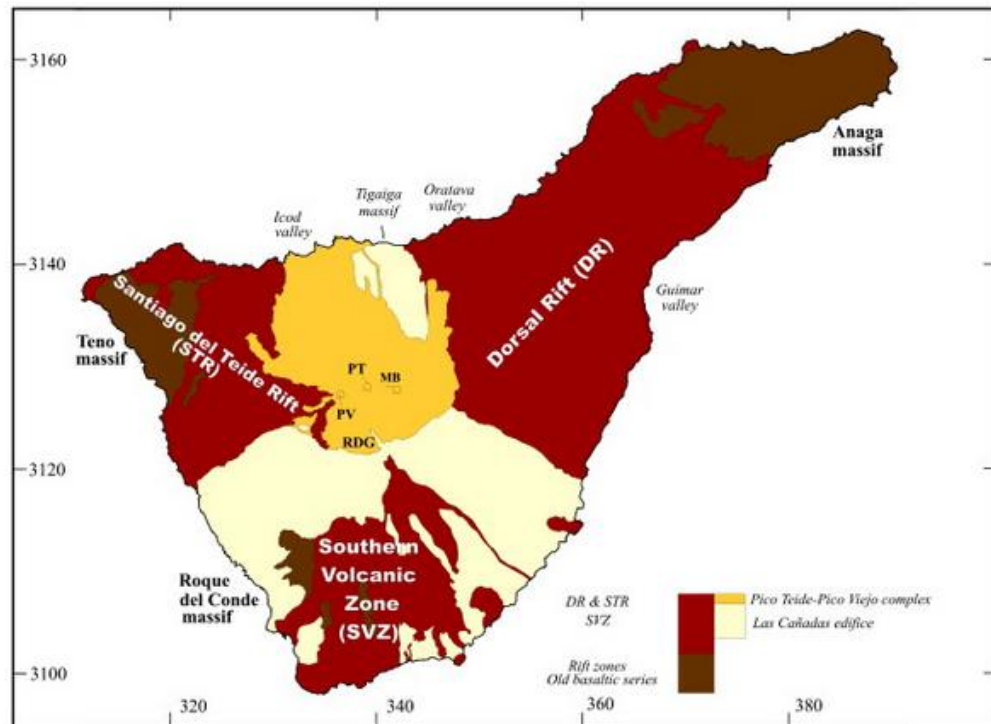


Figura 16: Estructuras de la Isla de Tenerife (Geyer y Martí, 2010).

En el caso de la isla de Tenerife, teniendo en cuenta los resultados estadísticos y gráficos obtenidos, la distribución de los centros eruptivos cartografiados es concentrada en relación con el modelo PNN.

5.6 La Gomera

La tabla 7 muestra los valores calculados en el análisis PNN de la isla de La Gomera. La figura 17 muestra la localización de los centros eruptivos monogenéticos y su envolvente convexa y en la figura 18 la densidad de centros eruptivos en la isla de La Gomera.

Tabla 7: Resultados estadísticos del análisis del vecino más próximo de Poisson para los centros de emisión volcánicos monogenéticos de La Gomera.

Isla	N	$A \text{ (m}^2\text{)}$	ρ_o	R	c	Distribución
La Gomera	66	232198371	2.84E-07	1.09	1.49	Aleatoria

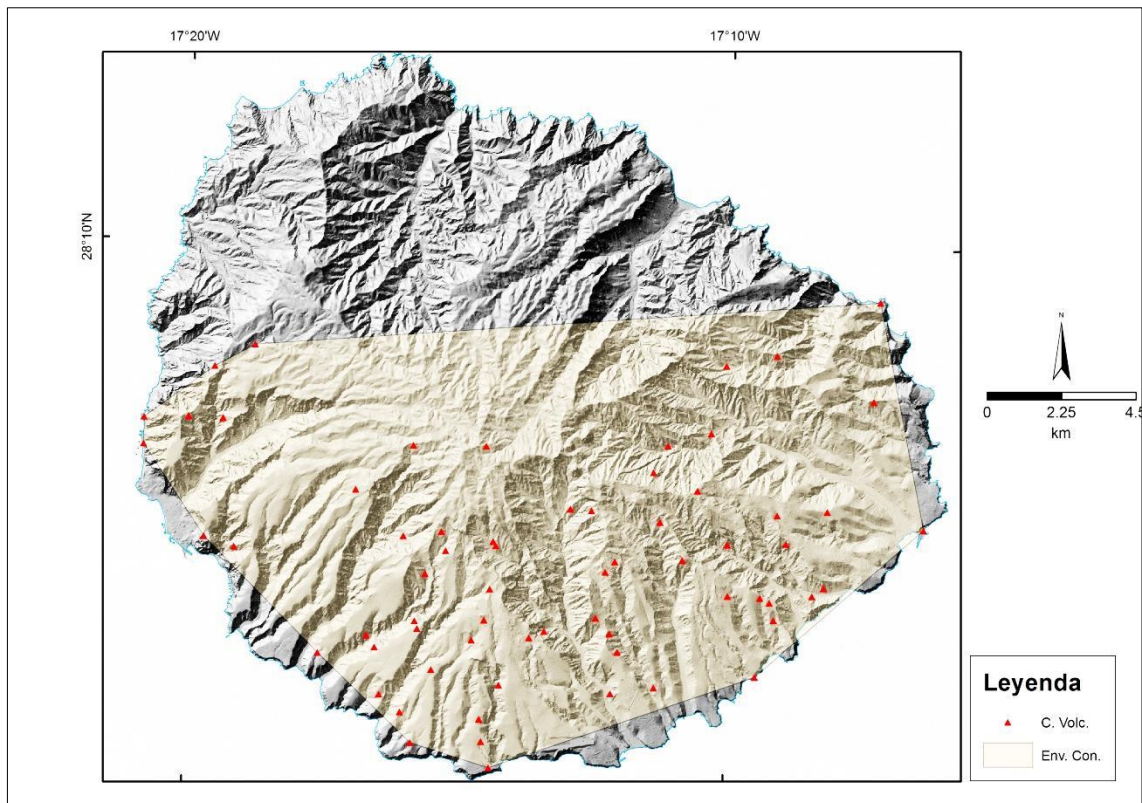


Figura 17: Localización de los centros eruptivos en la isla de La Gomera (triángulos) y su geometría envolvente convexa (polígono). Capa base: Grafcan.

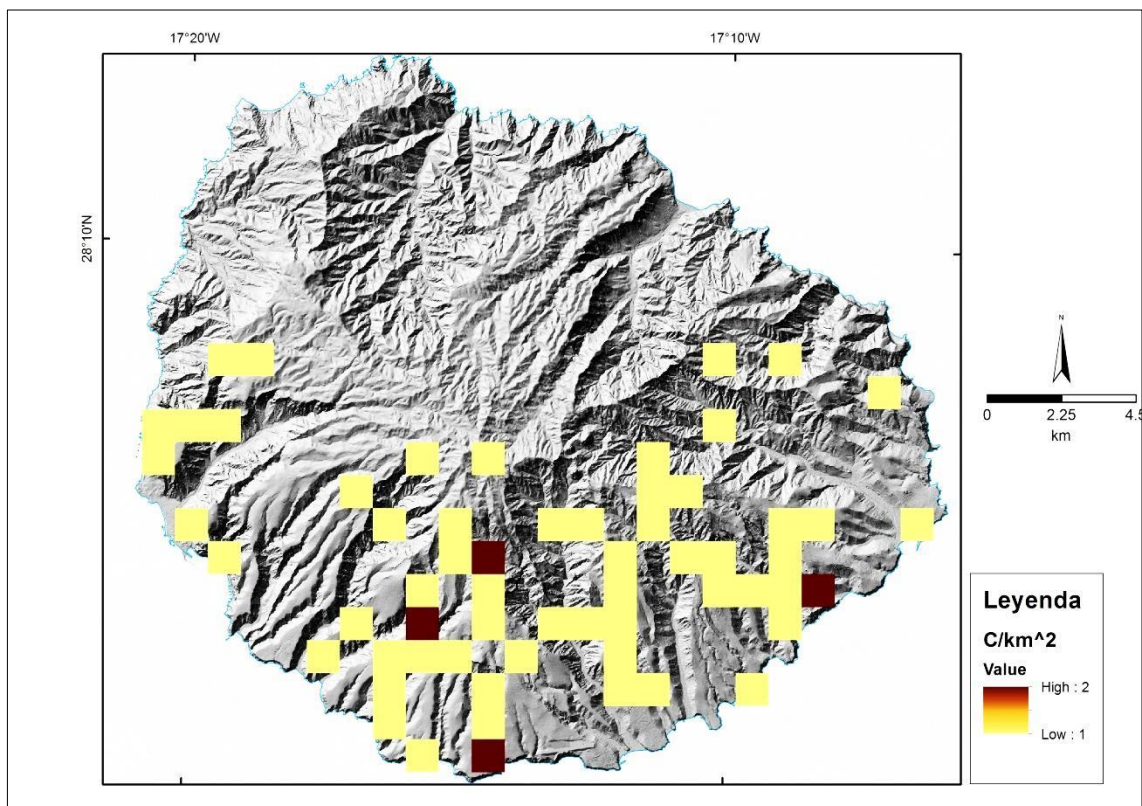


Figura 18: Densidad espacial de centros eruptivos en la isla de La Gomera. Celdas de 1 km².

La distancia media observada entre cada centro de emisión y su vecino más próximo es 100 m mayor que la distancia media esperada, indicando que los objetos se encuentran más espaciados entre sí de lo que cabría esperar para un conjunto de 66 objetos en un área de 230 km².

El estadístico R calculado tiene un valor de 1.096 y su estadístico c de 1.486, encontrándose ambos valores dentro del área de $\pm 2\sigma$ (figuras 2 y 3), indicando que la distribución de los centros eruptivos dentro de su envolvente convexa es aleatoria conforme al modelo de Poisson.

Los centros eruptivos cartografiados se encuentran en la zona sur de la isla, no observándose ningún área preferencial en esta zona de la isla para su aparición. La isla de La Gomera es la única del archipiélago que no ha tenido actividad volcánica en el Cuaternario (Ancochea et al., 2006), lo que conlleva que los centros eruptivos existentes se encuentren más deteriorados que en el resto de islas, donde sí ha habido episodios eruptivos más recientes, y sean más difíciles de reconocer y cartografiar. Esto revierte en la completitud de la serie de datos existentes de centros eruptivos en La Gomera, lo que hace muy difícil interpretar de forma correcta los resultados obtenidos y su representatividad.

5.7 La Palma

La tabla 8 muestra los valores calculados para la isla de La Palma. La distancia media observada entre cada centro de emisión y su vecino más próximo es 230 m menor que la distancia media esperada, indicando que los objetos se encuentran más agrupados entre sí de lo que cabría esperar para un conjunto de 447 objetos en un área de 700 km². El estadístico R calculado tiene un valor de 0.630 y su estadístico c de -14.979 , encontrándose ambos valores por debajo del valor de -2σ (figuras 2 y 3), indicando que la distribución de los centros eruptivos dentro de su envolvente convexa aparece concentrada en relación con el modelo de Poisson.

Tabla 8: Resultados estadísticos del análisis del vecino más próximo de Poisson para los centros de emisión volcánicos monogenéticos de La Palma.

Isla	N	A (m ²)	ρ_o	R	c	Distribución
La Palma	447	697658752	6.41E-07	0.63	-14.98	Concentrada

En la figura 19 se muestra la localización de cada centro eruptivo cartografiado en la isla de La Palma y la envolvente convexa para el conjunto de centros eruptivos. Puede observarse como existe una mayor concentración de centros en la parte nororiental, noroccidental y meridional de la isla, pudiéndose apreciar una mayor densidad de centros eruptivos coincidente con esas zonas, siendo más notable en el sur (figura 20).

Estas zonas con mayor densidad de centros eruptivos se corresponden geográficamente con las áreas del volcanismo más reciente de la isla como muestra la figura 21. Esas tres zonas se desarrollaron como dorsales volcánicas o *Rifts* (Carracedo et al., 2001), localizándose en el *Rift* de Cumbre Nueva, la dorsal formada al sur de la isla, donde acontecieron las erupciones ocurridas en el siglo XX (fig. 21).

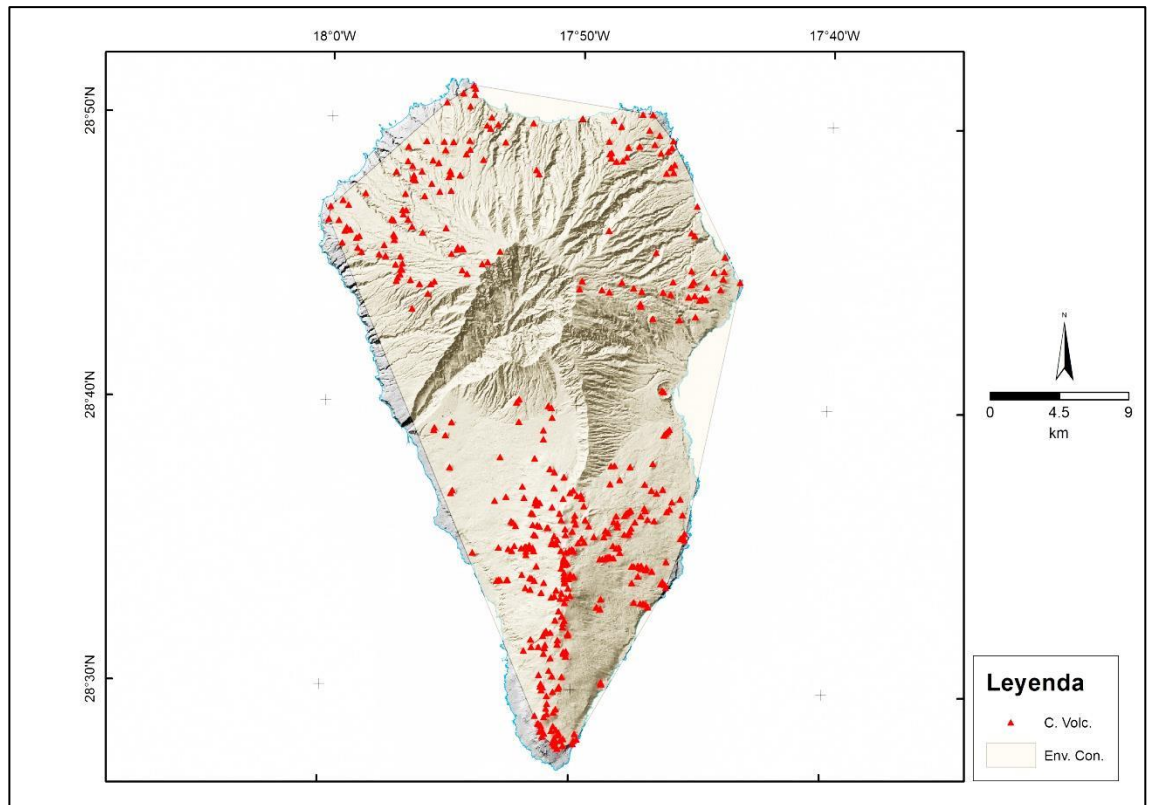


Figura 19: Localización de los centros eruptivos en la isla de La Palma (triángulos) y su geometría envolvente convexa (polígono). Capa base: Grafcan.

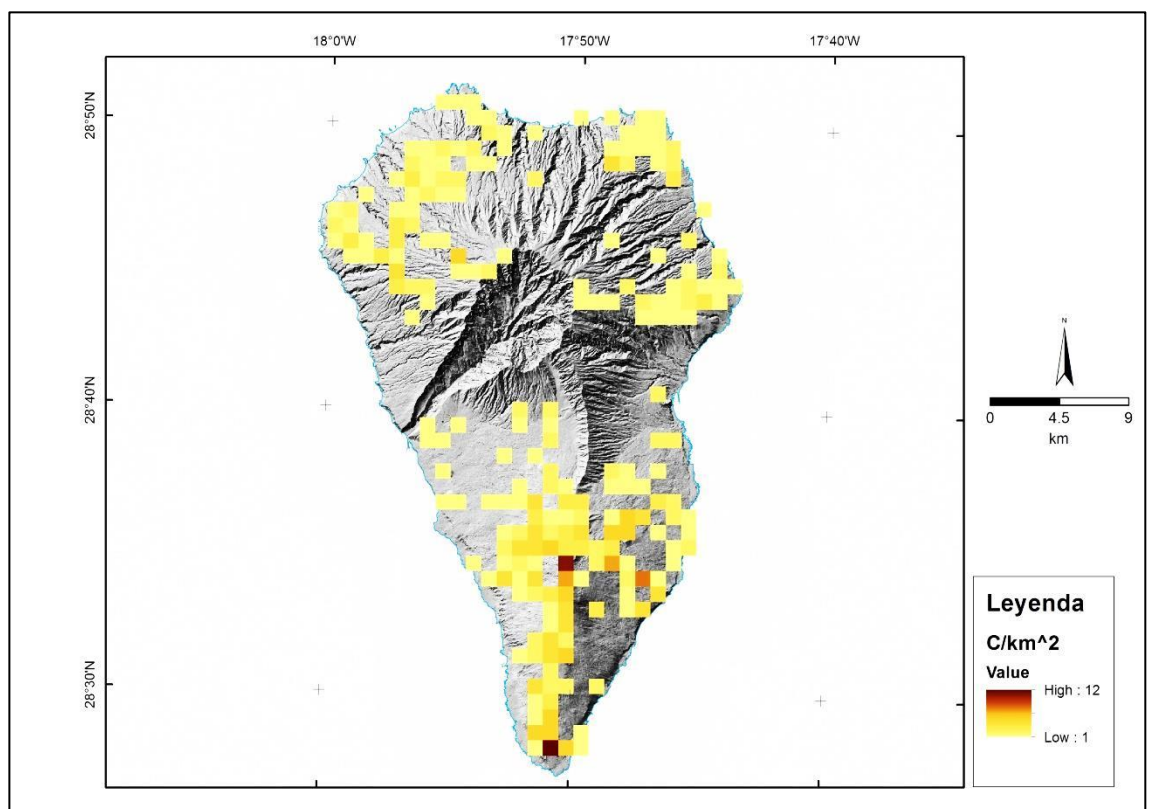


Figura 20: Densidad espacial de centros eruptivos en la isla de La Palma. Celdas de 1 km².

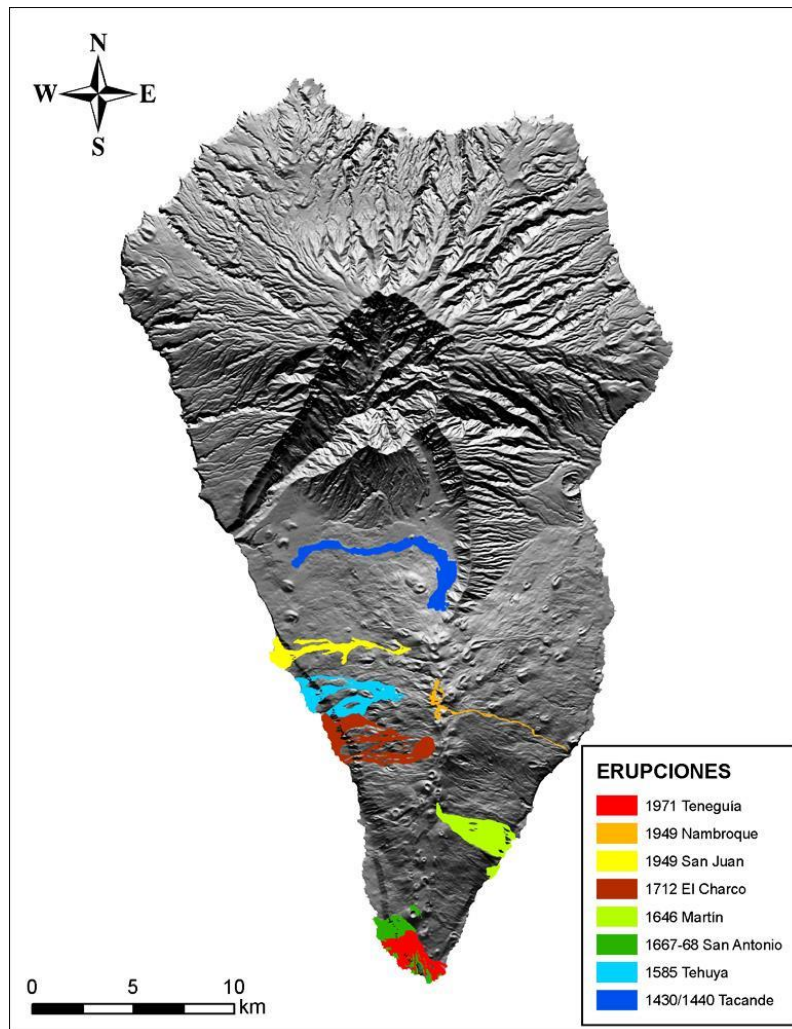


Figura 21: Erupciones históricas de La Palma¹⁹.

¹⁹ <http://www.ign.es/ign/layoutIn/actividadVolcanica.do>

5.8 El Hierro

La tabla 9 muestra los valores calculados para la isla de El Hierro. La distancia media observada entre cada centro de emisión y su vecino más próximo es 130 m menor que la distancia media esperada, indicando que los objetos se encuentran más agrupados entre sí de lo que cabría esperar para un conjunto de 366 objetos en un área de 330 km². El estadístico R calculado tiene un valor de 0.723 y su estadístico c de -10.130 , encontrándose ambos valores por debajo del valor de -2σ (figuras 2 y 3), indicando que la distribución de los centros eruptivos dentro de su envolvente convexa aparece dispersa en relación con el modelo de Poisson.

Tabla 9: Resultados estadísticos del análisis del vecino más próximo de Poisson para los centros de emisión volcánicos monogenéticos de El Hierro.

Isla	N	A (m ²)	ρ_o	R	c	Distribución
El Hierro	366	332087704	1.10E-06	0.72	-10.13	Concentrada

En la figura 22 se muestra la localización de cada centro eruptivo cartografiado en la isla de El Hierro y la envolvente convexa para el conjunto de centros eruptivos. Puede observarse como existe una mayor concentración de centros en la parte central, nororiental, noroccidental y meridional de la isla, pudiéndose apreciar una mayor densidad de centros eruptivos coincidente con esas zonas (figuras 23 y 24).

Esas tres zonas se han desarrollado como dorsales volcánicas o *Rifts* (Carracedo et al., 2001), localizándose en la dorsal sur la erupción más reciente de la isla.

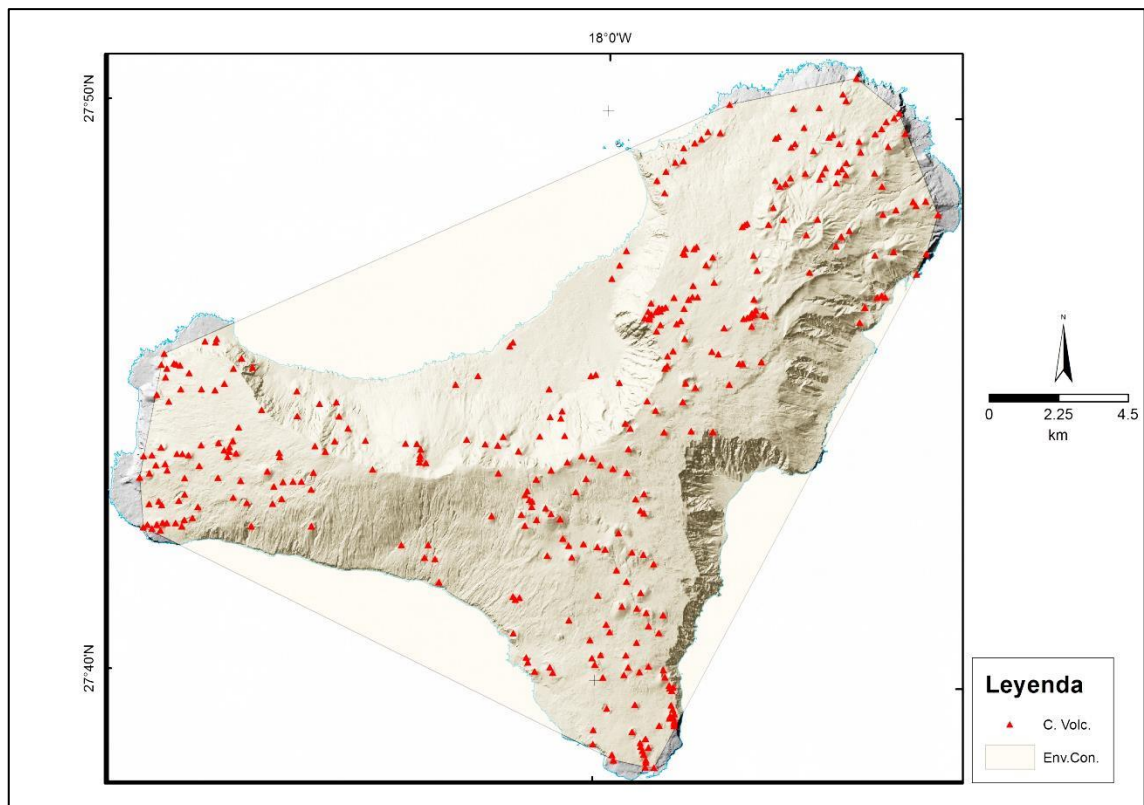


Figura 22: Localización de los centros eruptivos en la isla de El Hierro (triángulos) y su geometría envolvente convexa (polígono). Capa base: Grafcan.

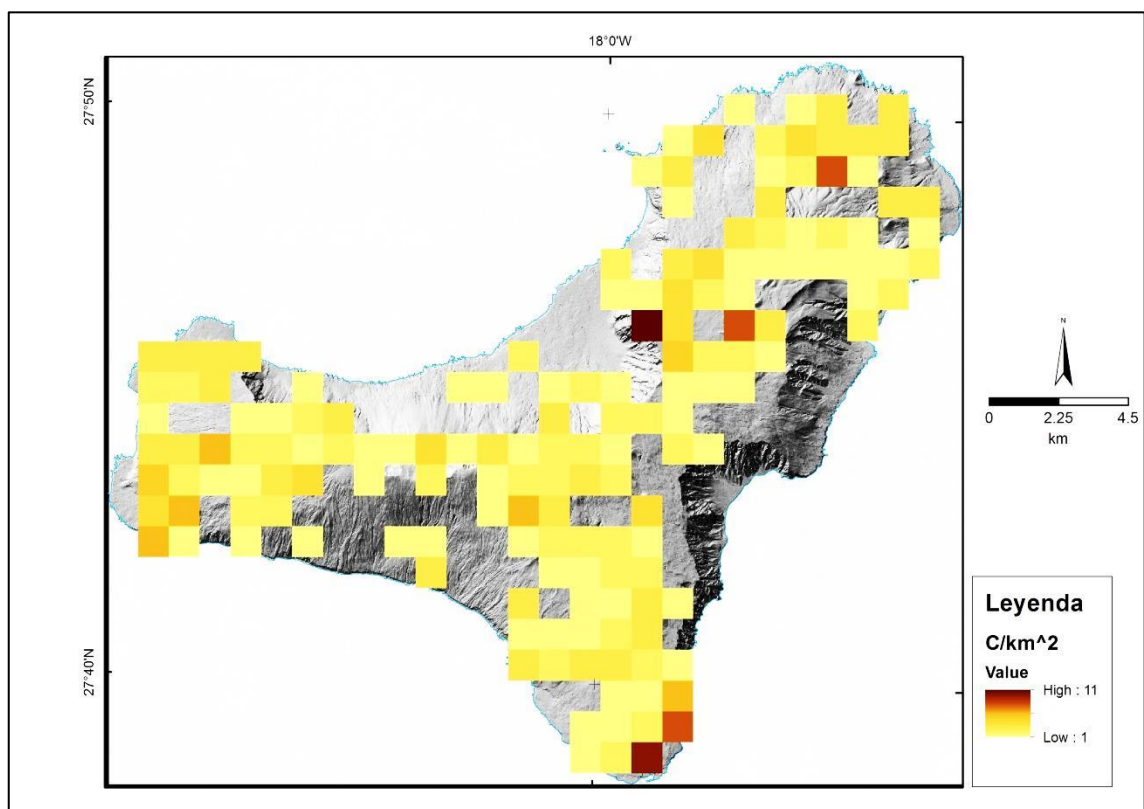


Figura 23: Densidad espacial de centros eruptivos en la isla de El Hierro. Celdas de 1 km².

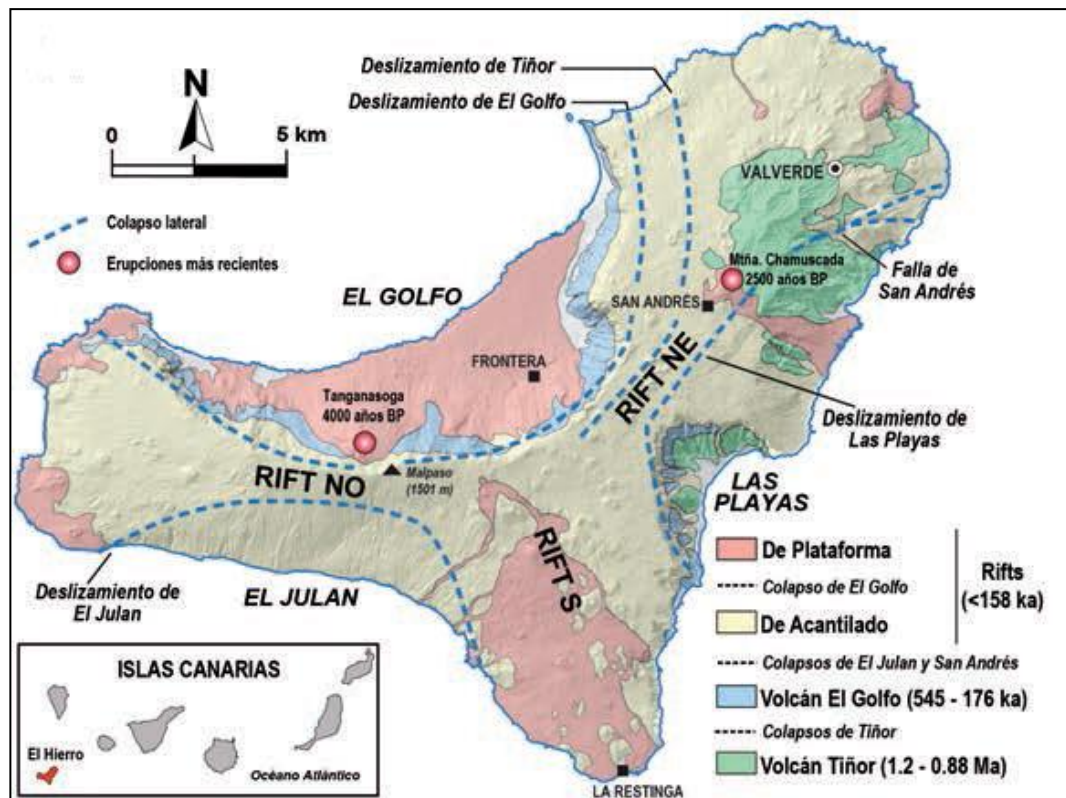


Figura 24: Estructuras de la isla de El Hierro (Pérez-Torrado et al., 2012).

En el caso de la isla de El Hierro, teniendo en cuenta los resultados estadísticos y gráficos obtenidos, la distribución de los centros eruptivos cartografiados es concentrada en relación con el modelo PNN.

6 Discusión

El conjunto de datos utilizados para realizar el análisis del vecino más próximo de Poisson representa los centros eruptivos monogenéticos cartografiados, que se encuentran en la parte emergida de los edificios insulares. Hay zonas de las islas que presentan una densidad de centros eruptivos mucho mayor que otras, y hay otras muy amplias en las que apenas hay centros cartografiados. Las zonas que presentan densidades muy bajas o ningún centro pueden haber sido afectadas por diversos agentes que han hecho que no existan centros eruptivos reconocibles para los cartógrafos. Hay procesos, como la erosión y la sedimentación prolongada, que pueden hacer que el reconocimiento de formas de emisión volcánica sea muy difícil. Además, los materiales emitidos por erupciones recientes han podido recubrir los centros eruptivos más antiguos y otros procesos, como los grandes deslizamientos, han hecho que los centros eruptivos que hubiera previos a ellos hoy no existan o sean irreconocibles, como en el Valle del Golfo, en El Hierro. Las zonas que no han sido tan afectadas por la erosión, que han tenido fases eruptivas recientes o no han sido afectadas por procesos como los deslizamientos, son las que conservan mayor número de centros eruptivos y, por lo tanto, las que mayor densidad de centros eruptivos tienen, siendo los resultados del análisis del vecino más próximo de Poisson más representativos para esas zonas que para las que han sido más afectadas. En el caso de La Gomera y Gran Canaria, el hecho de su fuerte erosión y su baja actividad reciente, han ocasionado que no hayan podido cartografiarse más centros eruptivos, haciendo que haya partes de las islas de las que no hay datos.

Los modelos digitales batimétricos han mostrado la prolongación de los *rifts* más allá de la línea de costa y la existencia de edificios volcánicos submarinos, pero no ha podido accederse a ningún catálogo que recoja las coordenadas de los centros eruptivos sumergidos, por lo tanto el análisis sólo ha tenido en cuenta los centros eruptivos superficiales.

Mediante confirmación visual, estadística y cartográfica, puede comprobarse que las áreas de máxima concentración de centros de emisión en Canarias, excepto en La Gomera, aparecen en zonas que otros autores han propuesto como

áreas de dorsales volcánicas, *rifts* o campos de volcanes, distribuyéndose de forma concentrada; pueden inferirse, entonces, algunas características geológicas del medio donde se ha desarrollado el volcanismo de las islas, pero sería preciso contrastar estos resultados con otros tipos de análisis, como podrían ser los espaciotemporales, que quedan fuera del alcance de este trabajo.

Los resultados de los estadísticos R y c en las Islas Canarias han resultado ser semejantes a los obtenidos por Le Corvec et al. (2013) en otras áreas volcánicas con un número de centros y unas densidades espaciales similares. Le Corvec et al. (2013) apuntan que el análisis de vecino más próximo de Poisson no es suficiente para establecer distinciones entre los diferentes ambientes tectónicos; sin embargo, es una forma rápida y objetiva de clasificar distribuciones espaciales que, acompañada de otras formas de análisis como la creación de mapas de densidad de objetos espaciales, ayuda a confirmar o a rechazar hipótesis que los investigadores pueden haber propuesto por mera visualización de la distribución

7 Conclusiones

El análisis del vecino más próximo de Poisson (Clark y Evans, 1954) ha demostrado ser un método eficaz para cuantificar la aleatoriedad de las distribuciones espaciales de centros eruptivos monogenéticos. No obstante, por sí solo, no es suficiente para caracterizar el ambiente tectónico donde esos centros eruptivos aparecen, pero sí es una forma objetiva de cuantificar la forma de su distribución que, junto con otras técnicas, ayuda a comprender mejor las causas de su localización.

Todas las islas canarias, excepto La Gomera, tienen unos valores estadísticos de R y c que muestran que los centros eruptivos monogenéticos cartografiados se encuentran distribuidos de forma concentrada, y las zonas con mayor concentración de centros eruptivos coinciden con las áreas propuestas como campos de volcanes, dorsales o *rifts*.

No puede concluirse que estos resultados estadísticos indiquen la existencia de algún mecanismo concreto, de carácter tectónico, que explique el porqué de las áreas de mayor concentración de centros eruptivos, pero sí parecen reforzar las hipótesis de otros autores al subdividir los territorios insulares en áreas volcánicas diferenciadas al mostrar que, en la mayor parte de los casos, los centros eruptivos aparecen concentrados según el análisis del vecino más próximo de Poisson.

El *software* R ha resultado ser una herramienta potente y útil de análisis de datos para estudios estadísticos y espaciales. La plataforma Shiny Apps ha podido ser utilizada de manera eficiente para el desarrollo de una aplicación, de forma sencilla, y la posibilidad de poder compartirla la hace una herramienta valiosa para la comunidad universitaria.

Bibliografía

Artículos y capítulos de libro

- Allaire, J.J. 2013, *Interface to ShinyApps*,
<https://www.shinyapps.io/>
<http://shiny.rstudio.com/gallery/>
<http://shiny.rstudio.com/reference/shiny/latest/> ,
accedidos el 5 de febrero de 2015.
- Allaire, J.J., Horner, J., Marti, V. y Porte, N. 2014, *Markdown rendering for R*,
<https://github.com/rstudio/markdown> , accedido el 5 de febrero de 2015.
- Ancochea, E., Hernán, F., Huertas, M., Brändle, J. y Herrera, R. 2006, "A new chronostratigraphical and evolutionary model for La Gomera: implications for the overall evolution of the Canarian Archipelago", *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, vol. 157, no. 4, pp. 271-293.
- Anguita, F. y Hernán, F. 2000, "The Canary Islands origin: a unifying model", *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, vol. 103, no. 1, pp. 1-26.
- Baloga, S., Glaze, L. y Bruno, B. 2007, "Nearest-neighbor analysis of small features on Mars: Applications to tumuli and rootless cones", *Journal of Geophysical Research: Planets (1991–2012)*, vol. 112, no. E3.
- Beggan, C. y Hammilton, C.W. 2010. New Image processing software for analyzing object size-frequency distributions, geometry, orientation and spatial distribution. *Computers and Geosciences*, vol. 36, no 4, pp. 539-549.
- Bivand, R., Keitt, T., Rowlingson, B., Pebesma, E., Sumner, M., Hijmans, M. y Rouault, E. 2014, Bindings for the Geospatial Data Abstraction Library, <http://cran.r-project.org/web/packages/rgdal/index.html>, accedido el 5 de febrero de 2015.
- Carr, D. 2014, *Hexagonal Binning Routines*,
<http://cran.r-roject.org/web/packages/hexbin/index.html>, accedido el 5 de febrero de 2015.
- Carracedo, J.C., Day, S., Guillou, H., Rodríguez Badiola, E., Canas, J. y Pérez Torrado, F. 1998, "Hotspot volcanism close to a passive continental margin: the Canary Islands", *Geological Magazine*, vol. 135, no. 05, pp. 591-604.
- Carracedo, J.C., Rodríguez-Badiola, E., Guillou, H., de la Nuez, J y Pérez Torrado, F. 2001, "Geology and volcanology of La Palma and El Hierro, Western Canaries", *Estudios Geológicos*, vol. 57, no. 5-6.

- Clark, P.J. y Evans, F.C. 1954, "Distance to nearest neighbor as a measure of spatial relationships in populations", *Ecology*, pp. 445-453.
- Dóniz Páez, J. 2011, "Relaciones entre topografía del terreno y morfología de los edificios volcánicos basálticos monogénicos de Tenerife (Islas Canarias, España)", *Estudios Geográficos*, vol. 72, no. 270, pp. 59-75.
- Gentleman, R., Carey, V., Morgan, M. y Falcon, S. 2014, Biobase: Base functions for Bioconductor,
<http://www.cse.unsw.edu.au/~mike/myrlibrary.old/Biobase/html/matchpt.html> ,
accedido el 5 de febrero de 2015.
- Geyer, A. y Martí, J. 2010, "The distribution of basaltic volcanism on Tenerife, Canary Islands: Implications on the origin and dynamics of the rift systems", *Tectonophysics*, vol. 483, no. 3, pp. 310-326.
- González, A.R., Torrado, F.P., Hansen, A., Turiel, J.F. y Aulinas, M. 2007, "Elaboración de un SIG del volcanismo holoceno de Gran Canaria (Islas Canarias). Ejemplo del volcán de El Draguillo", *Geogaceta*, vol. 41, pp. 179-182.
- González Cárdenas, E., Dóniz Páez, J., Gosálvez Rey, R.U., Becerras Ramírez, R. y Escobar Lahoz, E. 2013, Itinerarios Didácticos por la isla de Lanzarote, GEOVOL-UCLM.
- Gosálvez, R.U., González, E. y Morales, M. 2010, "Notas para una Zoogeografía en islas volcánicas: el caso de Canarias" in *Aportaciones recientes en Volcanología. 2005-2008*, eds. E. González, E. Escobar, R. Becerra, R.U. Gosálvez y J. Dóniz, pp. 377-388.
- Hamilton, C.W., Fagents, S.A. y Thordarson, T. 2010, "Explosive lava–water interactions II: self-organization processes among volcanic rootless eruption sites in the 1783–1784 Laki lava flow, Iceland", *Bulletin of volcanology*, vol. 72, no. 4, pp. 469-485.
- Le Corvec, N., Spörli, K.B., Rowland, J. y Lindsay, J. 2013, "Spatial distribution and alignments of volcanic centers: clues to the formation of monogenetic volcanic fields", *Earth-Science Reviews*, vol. 124, pp. 96-114.
- Perez-Torrado, F., Carracedo, J.C., Rodriguez-Gonzalez, A., Soler, V., Troll, V.R. y Wiesmaier, S. 2012, "La erupción submarina de La Restinga en la isla de El Hierro, Canarias: Octubre 2011-Marzo 2012", *Estudios geológicos*, vol. 68, no. 1, pp. 5-27.
- Perry, G.L., Miller, B.P. y Enright, N.J. 2006, "A comparison of methods for the statistical analysis of spatial point patterns in plant ecology", *Plant Ecology*, vol. 187, no. 1, pp. 59-82.

Rossbacher, L.A. 1986, "Nearest-neighbour analysis: a technique for quantitative evaluation of polygonal ground patterns", *Geografiska Annaler. Series A. Physical Geography*, pp. 101-105.

RStudio, Inc 2014, shiny: Easy web applications in R, <http://shiny.rstudio.com> ,
accedido el 5 de febrero de 2015.

Stabler, B. 2013, Read and Write ESRI Shapefiles,
<http://cran.r-project.org/web/packages/shapefiles/shapefiles.pdf> , accedido el
5 de febrero de 2015.

Zambrano-Bigiarini, M. 2014, Goodness-of-fit functions for comparison of
simulated and observed hydrological time series,
<http://cran.r-project.org/web/packages/hydroGOF/index.html> , accedido el 5
de febrero de 2015.

Recursos electrónicos

Asociación Viera y Clavijo,
http://www.vierayclavijo.org/html/paginas/articulos/fuerteventura/geologia_de_fuerteventura.html , accedido el 5 de febrero de 2015.

Cartografía GEODE, IGME, <http://cuarzo.igme.es/sigeco/> , accedido el 5 de
febrero de 2015.

Geometría Computacional, <http://www4.ujaen.es/~lidia/aprendeGC/tema2.html> ,
accedido el 5 de febrero de 2015.

Grafcan: <http://www.idecan.grafcan.es/idecan/portal/catalogo-de-servicios.html> ,
accedido el 5 de febrero de 2015.

Instituto Geográfico Nacional,
<http://www.ign.es/ign/layoutIn/volcanismo.do>
<http://www.ign.es/ign/layoutIn/actividadVolcanica.do>
<http://centrodedescargas.cnig.es/CentroDescargas/index.jsp> , accedido el 5 de
febrero de 2015.

Maps with RGraphics,
<https://www.nceas.ucsb.edu/scicomp/usecases/CreateMapsWithRGraphics> ,
accedido el 5 de febrero de 2015.

R project, <http://www.r-project.org/> , accedido el 5 de febrero de 2015.

RStudio, <http://www.rstudio.com/> , accedido el 5 de febrero de 2015.

Shiny examples, <http://www.showmeshiny.com/> , accedido el 5 de febrero de 2015.

Anexos

Anexo I: Cálculo de las principales variables para el análisis de vecino más próximo de Poisson en R

Las bibliotecas deben ser cargadas al inicio del documento:

```
library(hydroGOF)
library(xtable)
library(raster)
library(MASS)
library(RColorBrewer)
library(hexbin)
```

Se leerá, por un lado, el *shapefile* que contiene los objetos geográficos y, por otro, su tabla de atributos, en formato DBF, para poder comenzar a trabajar con los datos:

```
Lp<-readOGR("C:/Users/uno/Desktop/volcan2/CanariaNearest/COORDENADASXY",
"LapalXY")
atrtableLp<-
read.dbf("C:/Users/uno/Desktop/volcan2/CanariaNearest/COORDENADASXY/Lapal
XY.dbf",header=T)
```

Se almacenará la tabla de atributos como matriz, para poder calcular la distancia al vecino más próximo:

```
CoordMatLp<-as.matrix(atrtableLp$dbf)
```

Mediante *matchpt*(), se calcula la distancia euclidiana al vecino más próximo para cada punto:

```
NNLp<-matchpt(CoordMatLp)
```

Se crea una *dataframe* a partir de la matriz de coordenadas:

```
CoordDFLp<-as.data.frame(CoordMatLp)
```

Se crea un campo con un identificador único para cada punto, que comienza con valor 1 y termina con el valor de la longitud del vector «POINT_X», el cual almacena la ordenada x, mediante la función *length*():

```
CoordDFLp["ID"]<-1:(length(CoordDFLp$POINT_X))
```

Se repite el proceso para la *dataframe* que almacena las distancias al vecino más próximo para cada punto:

```
NNLp["ID"]<-1:(length(CoordDFLp$POINT_X))
```

Se crea una nueva *dataframe*, mediante la unión de las dos anteriores, usando el identificador común como nexo de unión. Esto se hace posible debido a que el orden seguido en la tabla, creada mediante *matchpt()*, sigue el mismo orden que la tabla para la cual fueron calculadas las distancias al vecino más próximo, mediante la función *merge()*:

```
NNLpFIN<-merge(CoordDFLp, NNLp, by=c("ID"))
```

Se genera una nueva *dataframe* con las coordenadas de cada punto:

```
COORDECHLp<-data.frame(X=c(NNLpFIN$POINT_X), Y=c(NNLpFIN$POINT_Y))
```

Con esas coordenadas, se calcula la envolvente convexa, mediante la función *chull()*, que devuelve una *dataframe* con los identificadores de los vértices:

```
CHULLIDLp<-chull(COORDECHLp)
```

Se obtienen las coordenadas de los vértices de la envolvente convexa para generar un polígono, e introduce una nueva fila que lo cierra, duplicando las coordenadas del primer punto:

```
COORDPOLCHLp<- COORDECHLp[c(CHULLIDLp, CHULLIDLp[1]), ]
```

Se genera un polígono espacial con el polígono creado de la envolvente convexa, para poder calcular el área ocupada por los objetos espaciales:

```
CHLpSPPOL<- SpatialPolygons(list(Polygons(list(Polygon(COORDPOLCHLp)),  
ID=1)))
```

Se proyecta el polígono espacial en el sistema de coordenadas *Universal Transverse Mercator*, elipsoide: WGS 84, huso 28 Norte, coincidente con la proyección de la capa original de objetos geográficos:

```
proj4string(CHLpSPPOL)=CRS("+init=epsg:32628")
```

Se extrae el área del polígono de la envolvente convexa, almacenada como variable calculada, dentro de la información del polígono espacial:

```
AreaLp<-CHLpSPPOL@polygons[[1]]@area
```

Se calcula el número de objetos geográficos, utilizando la longitud del vector de ordenadas X :

```
NLp<-length(COORDECHLp$X)
```

Se calcula la distancia media observada a partir de las distancias calculadas, desde cada punto a su vecino más próximo, mediante la función *mean()*:

```
meanDLp<-mean(NNLpFIN$distance)
```

Se calcula la densidad de objetos espaciales:

```
RhooLp=NLp/AreaLp
```

Se calcula la distancia media esperada, desde cada punto a su vecino más próximo, para un modelo teórico de distribución aleatoria de Poisson de objetos en un área:

```
RexpLp=1/(2*sqrt(RhooLp))
```

Se calcula el error típico de la media:

```
PseerrorLp=0.26136/sqrt(NLp*RhooLp)
```

Se calcula el estadístico R :

```
RLp=meanDLp/RexpLp
```

Se calcula el estadístico c :

```
cLp=(meanDLp-RexpLp)/PseerrorLp
```

Se ha procurado con este programa realizar el trabajo de la forma más automática posible, para poder repetir el proceso con cada *shapefile* y cada DBF de las islas. El ejemplo mostrado pertenece a la isla de La Palma. Para trabajar con la información del resto de islas, se ha cambiado el nombre de las variables, utilizando un sufijo distinto, para poder ejecutar otro programa que utilice los resultados obtenidos para cada isla.

El programa que obtiene los resultados globales queda descrito de la siguiente forma:

Desde el nuevo programa, se llama a los programas que calculan las variables para cada isla:

```
source("C:/Users/uno/Desktop/volcan2/CanariaNearest/ScriptsR/FVShape.R")
source("C:/Users/uno/Desktop/volcan2/CanariaNearest/ScriptsR/LzShape.R")
source("C:/Users/uno/Desktop/volcan2/CanariaNearest/ScriptsR/GcShape.R")
source("C:/Users/uno/Desktop/volcan2/CanariaNearest/ScriptsR/LpShape.R")
source("C:/Users/uno/Desktop/volcan2/CanariaNearest/ScriptsR/LgShape.R")
source("C:/Users/uno/Desktop/volcan2/CanariaNearest/ScriptsR/EHShape.R")
source("C:/Users/uno/Desktop/volcan2/CanariaNearest/ScriptsR/TfShape.R")
```

Se cargan las bibliotecas necesarias para trabajar con los datos calculados en los otros programas y realizar el postprocesado:

```
library(hydroGOF)
library(xtable)
library(raster)
library(MASS)
library(RColorBrewer)
```

Se crea un vector de valores, que almacena el número de objetos geográficos en cada isla:

```
vcen<-c(NF,NGc,NHi,NLg,NLp,NLz,NTf)
```

Se crea un vector que almacena los valores de densidad de objetos espaciales en cada isla:

```
DensIslas<-c(RhooF,RhooGc,RhooHi,RhooLg,RhooLp,RhooLz,RhooTf)
```

Se crea un vector que almacena las distancias medias observadas, de cada punto a su vecino más próximo, en cada isla:

```
RobsIslas<-c(meanDF,meanDGc,meanDHi,meanDLg,meanDLp,meanDLz,meanDTf)
```

Se crea un vector que almacena las distancias medias esperadas, para un modelo teórico de distribución aleatoria de Poisson, de cada punto a su vecino más próximo, en cada isla:

```
RexpIslas<-c(RexpF,RexpGc,RexpHi,RexpLg,RexpLp,RexpLz,RexpTf)
```

Se crea un vector que almacena los valores del estadístico R , en cada isla:

```
RIslas<-c(RF, RGc, RHi, RLg, RLp, RLz, RTf)
```

Se crea un vector de etiquetas que se utilizará para describir cada punto en las figuras 2 y 3:

```
Rnames<-c("Fv", "GC", "Hi", "LG", "LP", "Lz", "Tf")
```

Se crea un vector que almacena los valores del error típico de la media, en cada isla:

```
ErIslas<-  
c(PerrorF, PerrorGc, PerrorHi, PerrorLg, PerrorLp, PerrorLz, PerrorTf)  
CIslas<-c(cF, cGc, cHi, cLg, cLp, cLz, cTf)
```

Se accede a la tabla «lcv.csv» que almacena el valor de las variables calculadas por Le Corvec et al. (2013), que servirá para mostrar los valores estadísticos ideales de R y c y sus valores de desviación para aceptar o rechazar la aleatoriedad en la distribución. Se almacenan los contenidos en la variable «lcv». Se crea un vector «ver» con el número de objetos espaciales (N) de cada campo de volcanes, almacenado bajo el nombre N dentro de la tabla:

```
ver<- lcv$N
```

Se crea un vector que almacena los valores del estadístico R , para el valor de N en cada campo de volcanes estudiado por Le Corvec et al. (2013), almacenados en la tabla bajo el nombre «Ri»:

```
Rteo<-lcv$Ri
```

Se interpola el valor del estadístico R , correspondiente a cada valor, o número de objetos espaciales:

```
Rtodas=approx(ver, Rteo)
```

Se crea un vector que almacena los valores superiores del intervalo de confianza $\pm 2\sigma$, calculados Le Corvec et al. (2013) para cada valor de N , almacenado en la tabla bajo el nombre de «R2s». Se realiza lo mismo con los valores inferiores del intervalo, con el nombre en la tabla de «R.2s». Los valores superiores e inferiores se interpolan por el número de objetos, para así obtener las bandas a representar gráficamente:

```
rssupord<-lcv$R2s  
bandRs<-approx(ver, rssupord)  
rsinford<-lcv$R.2s  
bandRi<-approx(ver, rsinford)
```

Se realizan los mismos pasos para c :

```
cteoOrd<-lcv$ci  
ctodas<-approx(ver, cteoOrd)  
csupord<-lcv$c2s  
bandcs<-approx(ver, csupord)  
cinford<-lcv$c.2s  
bandci<-approx(ver, cinford)
```

Se calculan las bandas superiores para realizar los gráficos de las figuras 2 y 3:

```
uband2<-spline(bandRs$y, n=max(numC))  
lband2<-spline(bandRi$y, n=max(numC))  
ubandc<-spline(bandcs$y, n=max(numC))  
lbandc<-spline(bandci$y, n=max(numC))
```

Se interpolan los valores R hasta el máximo valor de N utilizado por Le Corvec et al. (2013) y se almacenan en la variable «obs»; de hace lo mismo con los valores de c :

```
obs=spline(Rtodas$y, n=max(numC))  
obsc=spline(sigmoid$y, n=max(numC))
```

Se prepara la nueva figura gráfica, indicando que se quieren dos filas y una columna para la representación, o dos figuras gráficas dentro de una misma figura:

```
par(mfrow=c(2, 1))
```

Se da la instrucción de representar las bandas que delimitaran la región de confianza mediante *plotbands()* y algunas instrucciones para desactivar los elementos gráficos que aparecen por defecto, así como otras instrucciones de etiquetado de ejes. Se representan también como puntos mediante la función *points()* los valores obtenidos de R y de c para cada isla. El gráfico relativo al estadístico R será el superior y el relativo al estadístico c el inferior, dentro de las figuras 2 y 3.

```
plotbands(obs$y,lband2$y,uband2$y,ylim=c(0,2),main=expression(paste("Valores de R con límites de aceptación de +/- 2" , sigma , " ")),xlab="Nº de objetos", ylab="R", legend =FALSE,gof.leg=FALSE)
points(vcen,RIslas,pch=4,col="red")
text(vcen,y=RIslas-0.1,labels=Rnames)
plotbands(obsc$y,lbandc$y,ubandc$y,ylim=c(-20,12),
main=expression(paste("Valores de c con límites de aceptación de +/- 2" ,
sigma , " ")),xlab="Nº de objetos", ylab="c", legend
=FALSE,gof.leg=FALSE)
points(vcen,CIslas,pch=4,col="red")
text(vcen,y=CIslas-2,labels=Rnames)
```

Se crea un vector que almacena los valores de las áreas de las envolventes convexas calculadas para cada isla:

```
areacan=c(AreaF,AreaGc,AreaHi,AreaLg,AreaLp,AreaLz,AreaTf)
```

Se crea un vector que almacena los nombres de las islas:

```
names=c("Fuerteventura","Gran Canaria","El Hierro","La Gomera","La
Palma","Lanzarote","Tenerife")
```

Se crea una *dataframe* donde almacenar los valores de las variables correspondientes a cada isla, que serán representados más adelante en una tabla:

```
resultadosCan=data.frame(names,vcen,areacan,DensIslas,RobsIslas,ErIslas,R
expIslas,RIslas,CIslas)
```

Se dan instrucciones para crear la tabla de resultados globales (tabla 2) en CSV, almacenando los valores finales de las variables y los estadísticos:

```
write.table(resultadosCan, sep=";",row.names=FALSE,col.names=c("Isla","Nº
de objetos","Área","Densidad","Distancia m. observada","E.T. de la
media","Distancia m.
```

```
esperada", "R", "c"), file="C:/Users/uno/Desktop/volcan2/tablas/Can/tablitac  
.csv")
```

Se da instrucciones para que se acceda a unos archivos en formato *shapefile*, que contienen las líneas de costa de las islas; servirá más adelante para la representación gráfica:

```
#####  
FvC<-  
readOGR("C:/Users/uno/Desktop/volcan2/CostasSeparadas/CostaPoli", "FvC")  
GcC<-  
readOGR("C:/Users/uno/Desktop/volcan2/CostasSeparadas/CostaPoli", "GcC")  
HiC<-  
readOGR("C:/Users/uno/Desktop/volcan2/CostasSeparadas/CostaPoli", "HiC")  
LgC<-  
readOGR("C:/Users/uno/Desktop/volcan2/CostasSeparadas/CostaPoli", "LgC")  
LpC<-  
readOGR("C:/Users/uno/Desktop/volcan2/CostasSeparadas/CostaPoli", "LpC")  
LzC<-  
readOGR("C:/Users/uno/Desktop/volcan2/CostasSeparadas/CostaPoli", "LzC")  
TfC<-  
readOGR("C:/Users/uno/Desktop/volcan2/CostasSeparadas/CostaPoli", "TfC")  
#####
```

Se da instrucciones para que la figura tenga una fila y una columna:

```
par(mfrow=c(1, 1))
```

Se le pide al programa que represente en la misma figura las envolventes convexas, los centros volcánicos cartografiados y las líneas de costa. Se le indica, también, que añada varios elementos gráficos a las figuras

```
plot(CHHiSPPOL, col="snow2", border="wheat4", axes=T)  
points(Hi, pch=24, col="black", bg="peru")  
plot(HiC, add=T)  
title(main="Envolvente convexa de los centros volcánicos en El Hierro")  
title(xlab="X (m)")  
title(ylab="Y (m)")  
scalebar(10000, type='bar', divs=2, below='metros')  
#####  
plot(CHFVSPPOL, col="snow2", border="wheat4", axes=T)  
points(fv, pch=24, col="black", bg="peru")  
plot(FvC, add=T)  
title(main="Envolvente convexa de los centros volcánicos en  
Fuerteventura")  
title(xlab="X (m)")  
title(ylab="Y (m)")  
scalebar(10000, type='bar', divs=2, below='metros')  
#####  
plot(CHGcSPPOL, col="snow2", border="wheat4", axes=T)  
points(Gc, pch=24, col="black", bg="peru")  
plot(GcC, add=T)  
title(main="Envolvente convexa de los centros volcánicos en Gran  
Canaria")  
title(xlab="X (m)")  
title(ylab="Y (m)")
```

```

scalebar(10000, type='bar', divs=2, below='metros')
#####
plot(CHLgSPPOL, col="snow2", border="wheat4", axes=T)
points(Lg, pch=24, col="black", bg="peru")
plot(LgC, add=T)
title(main="Envolvente convexa de los centros volcánicos en La Gomera")
title(xlab="X (m)")
title(ylab="Y (m)")
scalebar(10000, type='bar', divs=2, below='metros')
#####
plot(CHLpSPPOL, col="snow2", border="wheat4", axes=T)
points(Lp, pch=24, col="black", bg="peru")
plot(LpC, add=T)
title(main="Envolvente convexa de los centros volcánicos en La Palma")
title(xlab="X (m)")
title(ylab="Y (m)")
scalebar(10000, type='bar', divs=2, below='metros')
#####
plot(CHLzSPPOL, col="snow2", border="wheat4", axes=T)
points(lz, pch=24, col="black", bg="peru")
plot(lzC, add=T)
title(main="Envolvente convexa de los centros volcánicos en Lanzarote")
title(xlab="X (m)")
title(ylab="Y (m)")
scalebar(10000, type='bar', divs=2, below='metros')
#####
plot(CHTfSPPOL, col="snow2", border="wheat4", axes=T)
points(Tf, pch=24, col="black", bg="peru")
plot(TfC, add=T)
title(main="Envolvente convexa de los centros volcánicos en Tenerife")
title(xlab="X (m)")
title(ylab="Y (m)")
scalebar(10000, type='bar', divs=2, below='metros')

```

- Se crean las figuras de celdas hexagonales:

```

#####
binFv<-hexbin(fv$POINT_X, fv$POINT_Y, xbins=10)
gplot.hexbin(binFv, colorcut=5, ylab="", xlab='', legend =2, lcex =
0.8, xaxt='n', yaxt='n')
#####
binGc<-hexbin(Gc$POINT_X, Gc$POINT_Y, xbins=10)
gplot.hexbin(binGc, colorcut=5, ylab="", xlab='', legend =2, lcex =
0.8, xaxt='n', yaxt='n')
#####
binLp<-hexbin(Lp$POINT_X, Lp$POINT_Y, xbins=10)
gplot.hexbin(binLp, colorcut=5, ylab="", xlab='', legend =2, lcex =
0.8, xaxt='n', yaxt='n')
#####
binLg<-hexbin(Lg$POINT_X, Lg$POINT_Y, xbins=10)
gplot.hexbin(binLg, colorcut=5, ylab="", xlab='', legend =2, lcex =
0.8, xaxt='n', yaxt='n') #####
#####
binLz<-hexbin(lz$POINT_X, lz$POINT_Y, xbins=10)
gplot.hexbin(binLz, colorcut=5, ylab="", xlab='', legend =2, lcex =
0.8, xaxt='n', yaxt='n')
#####
binHi<-hexbin(Hi$POINT_X, Hi$POINT_Y, xbins=10)
gplot.hexbin(binHi, colorcut=5, ylab="", xlab='', legend =2, lcex =
0.8, xaxt='n', yaxt='n')
#####
binTf<-hexbin(Tf$POINT_X, Tf$POINT_Y, xbins=10)
gplot.hexbin(binTf, colorcut=5, ylab="", xlab='', legend =2, lcex =
0.8, xaxt='n', yaxt='n')

```

Anexo II: Desarrollo para Shiny Apps

Server.R

```
library(shiny)
library(Biobase)
library(rgdal)
library(sp)
library(hydroGOF)
library(markdown)
library(hexbin)

shinyServer(function(input, output) {
  output$contents <- renderDataTable({

    inFile <- input$file1
    read.csv(inFile$datapath, header=TRUE, sep=";")

  }, options=list(lengthMenu = c(5, 10, 20), pageLength = 5, searching
= FALSE))

  output$res <- renderDataTable({
    inFile <- input$file1
    inFileX<-read.csv(inFile$datapath, header=TRUE,
sep=";") #, quote=input$quote)
    CoordMat<-as.matrix(inFileX)
    NN<-matchpt(CoordMat)
    CoordDF<-as.data.frame(CoordMat)
    CoordDF["ID"]<-1:(length(CoordDF$x))
    NN["ID"]<-1:(length(CoordDF$x))
    NNFIN<-merge(CoordDF, NN, by=c("ID"))
    COORDECH<-data.frame(X=c(NNFIN$x), Y=c(NNFIN$y))
    CHULLID<-chull(COORDECH)
    COORDPOLCH<- COORDECH[c(CHULLID, CHULLID[1]),]
    CHSPPOL<-
    SpatialPolygons(list(Polygons(list(Polygon(COORDPOLCH)), ID=1)))
    #crea un polígono espacial, para luego poder obtener área
    Area<-CHSPPOL@polygons[[1]]@area #nos da el area en m^2
    N<-length(COORDECH$x)
    meanD<-mean(NNFIN$distance)
    Rhoo=N/Area
    Rexp=1/(2*sqrt(Rhoo))
    Perror=0.26136/sqrt(N*Rhoo)
    R=meanD/Rexp
    c=(meanD-Rexp)/Perror

    resultados=data.frame("Features"=N, "Area"=Area, "Density"=Rhoo, "Mea
n NN distance"=meanD, "Error of the Mean"=Perror, "Expected Mean NN
Dist."=Rexp, "R"=R, "c"=c, check.names=F)

  }, options = list(searching = FALSE, paging = FALSE, searchable =
FALSE)
  )

  output$graf1 <- renderPlot({
inFile<-input$file1

inFileX<-read.table(inFile$datapath, header=TRUE, sep=";")
```

```

CoordMat<-as.matrix(inFileX)
NN<-matchpt(CoordMat)
CoordDF<-as.data.frame(CoordMat)
CoordDF["ID"]<-1:(length(CoordDF$x))
NN["ID"]<-1:(length(CoordDF$x))
NNFIN<-merge(CoordDF, NN, by=c("ID"))
COORDECH<-data.frame(X=c(NNFIN$x),Y=c(NNFIN$y))
CHULLID<-chull(COORDECH)
COORDPOLCH<- COORDECH[c(CHULLID,CHULLID[1]),]
CHSPPOL<- SpatialPolygons(list(Polygons(list(Polygon(COORDPOLCH)),
ID=1))) #crea un polígono espacial, para luego poder obtener área
Area<-CHSPPOL@polygons[[1]]@area #nos da el area en m^2
N<-length(COORDECH$x)
numC<-c(42, 435, 249, 186, 152, 49, 88, 340, 141, 107, 28, 181,
204, 224, 54, 170, 135, 185, 216, 314, 79, 467, 453, 158, 280, 360,
81, 144, 507, 67, 440, 92, 359, 84, 142, 59, 39)
ver<-sort(numC)
Rteo<-
c(1.09,1.08,1.07,1.07,1.06,1.06,1.06,1.05,1.05,1.05,1.05,1.05,1.04,1.0
4,1.04,1.04,1.04,1.04,1.04,1.03,1.03,1.03,1.03,1.03,1.03,1.03,1.0
3,1.02,1.02,1.02,1.02,1.02,1.02,1.02,1.02,1.02)
Rtodas=approx(ver, Rteo)
rs2sup<-c(1.27, 1.08, 1.10, 1.12, 1.13, 1.24, 1.18, 1.08, 1.14,
1.15, 1.34, 1.12, 1.11, 1.10, 1.23, 1.12, 1.14, 1.12, 1.11, 1.09,
1.19, 1.07, 1.07, 1.13, 1.09, 1.08, 1.19, 1.14, 1.07, 1.21, 1.08,
1.17, 1.08, 1.18, 1.14, 1.22, 1.28)
rssupord<-sort(rs2sup, decreasing=T)
bandRs<-approx(ver, rssupord)
rs2inf<-c(0.88, 0.97, 0.95, 0.95, 0.94, 0.89, 0.92, 0.96, 0.94,
0.93, 0.85, 0.95, 0.95, 0.95, 0.90, 0.95, 0.94, 0.95, 0.95, 0.96,
0.92, 0.97, 0.97, 0.94, 0.96, 0.96, 0.92, 0.94, 0.97, 0.91, 0.97,
0.93, 0.96, 0.92, 0.94, 0.90, 0.87)
rsinford<-sort(rs2inf)
bandRi<-approx(ver, rsinford)
cteo<-c(0.88, 0.78, 0.80, 0.82, 0.84, 0.88, 0.86, 0.78, 0.84,
0.85, 0.89, 0.83, 0.82, 0.81, 0.88, 0.83, 0.84, 0.82, 0.81, 0.78,
0.87, 0.77, 0.78, 0.83, 0.79, 0.78, 0.87, 0.84, 0.77, 0.87, 0.78,
0.86, 0.78, 0.86, 0.84, 0.88, 0.88)
cteoOrd<-sort(cteo, decreasing=T)
ctodas<-approx(ver, cteoOrd)
cs2sup<-c(2.91, 3.10, 2.99, 2.88, 3.15, 2.89, 3.05, 2.91, 3.08,
3.00, 3.18, 3.23, 2.96, 2.95, 3.20, 2.98, 3.00, 2.97, 2.95, 2.91,
3.10, 2.89, 2.89, 2.99, 2.92, 3.22, 2.89, 2.94, 2.97, 2.99, 3.22,
3.07, 2.91, 3.00, 3.02, 3.27, 2.97)
csupord<-sort(cs2sup, decreasing=T)
bandcs<-approx(ver, csupord)
cs2inf<-
c(1.46,1.34,1.33,1.32,1.32,1.45,1.34,1.34,1.31,1.31,1.48,1.32,1.32,1.3
3,1.44,1.32,1.31,1.32,1.32,1.35,1.37,1.34,1.34,1.32,1.34,1.34,1.36,1.3
1,1.34,1.40,1.34,1.33,1.34,1.36,1.31,1.43,1.46)*-1
cinford<-sort(cs2inf)
bandci<-approx(ver, cinford)
uband2<-spline(bandRs$y,n=max(numC))
lband2<-spline(bandRi$y,n=max(numC))
ubandc<-spline(bandcs$y,n=max(numC))
lbandc<-spline(bandci$y,n=max(numC))
obs=spline(Rtodas$y,n=max(numC))
obsc=spline(ctodas$y,n=max(numC))
meanD<-mean(NNFIN$distance)
Rhoo=N/Area

```



```

Rexp=1/(2*sqrt(Rhoo))
Perror=0.26136/sqrt(N*Rhoo)
R=meanD/Rexp
c=(meanD-Rexp)/Perror
par(mfrow=c(2, 1))

plotbands(obs$y,lband2$y,uband2$y,ylim=c(0,2),main=expression(paste("V
alores de R con límites de aceptación de +/- 2" , sigma , "
")),xlab="N° de objetos", ylab="R", legend =FALSE,gof.leg=FALSE)
  points(N,R,pch=4,col="red")
  text(N,y=R-0.1,labels=format(round(R,2)))
plotbands(obs$y,lbandc$y,ubandc$y,ylim=c(-
20,12),main=expression(paste("Valores de c con límites de aceptación
de +/- 2" , sigma , " ")),xlab="N° de objetos", ylab="c", legend
=FALSE,gof.leg=FALSE)
  points(N,c,pch=4,col="red")
  text(N,y=c-2,labels=format(round(c,2)))
})

output$graf2 <- renderPlot({
  inFile<-input$file1
  inFileX<-read.csv(inFile$datapath, header=TRUE, sep=";")
  CoordMat<-as.matrix(inFileX)
  NN<-matchpt(CoordMat)
  CoordDF<-as.data.frame(CoordMat)
  CoordDF["ID"]<-1:(length(CoordDF$x))
  NN["ID"]<-1:(length(CoordDF$x))
  NNFIN<-merge(CoordDF, NN, by=c("ID"))
  COORDECH<-data.frame(X=c(NNFIN$x),Y=c(NNFIN$y))
  CHULLID<-chull(COORDECH)
  COORDPOLCH<- COORDECH[c(CHULLID,CHULLID[1]),]
  CHSPPOL<-
  SpatialPolygons(list(Polygons(list(Polygon(COORDPOLCH)), ID=1)))
  #crea un poligono espacial, para luego poder obtener área
  Area<-CHSPPOL@polygons[[1]]@area #nos da el area en m^2
  N<-length(COORDECH$x)
  plot.new()
  plot.window(xlim=c(min(inFileX$x),max(inFileX$x)),ylim=c(min(infil
eX$y),max(inFileX$y)))
  axis(1)
  axis(2)
  title(main="Convex Hull geometry with entered features")
  title(xlab="X coordinates (m)")
  title(ylab="Y coordinates (m)")
  box()
  polygon(COORDPOLCH,col="snow2",border="wheat4")
  points(inFileX,pch=24,col="black",bg="peru")
})

output$grafD <- renderPlot({
  inFile<-input$file1
  inFileX<-read.table(inFile$datapath, header=TRUE, sep=";")
  bin<-hexbin(inFileX$x,inFileX$y, xbins=10)
  gplot.hexbin(bin, colorcut=5,ylab="Y",xlab="X")
})
})

```

Ui.R

```

library(shiny)
library(Biobase)
library(rgdal)
library(sp)
library(hydroGOF)
library(markdown)

shinyUI(fluidPage(
  titlePanel("Poisson Nearest Neighbour Analysis, a shiny web
app"),

  mainPanel(
    tabsetPanel(
      tabPanel("Documentation",
        wellPanel(
          withMathJax(),
          includeMarkdown("poiss.Rmd")
        ),
      tabPanel("Enter data",
        wellPanel(
          includeMarkdown("inf.Rmd"),
          fileInput('file1', "Please, choose a '.CSV' file with 'x'
and 'y' columns:",
            accept=c('text/csv',
                    'text/comma-separated-values,text/plain',
                    '.csv'))),

          dataTableOutput('contents')),
      tabPanel("Main results",
        wellPanel(
          h4("Results"),
          dataTableOutput('res')
          #dataTableOutput('res')
        ),
      tabPanel("Graphics",
        wellPanel(
          h4("Graphical Results for R and c statistics"),
          plotOutput('graf1',width="40%",height="800px"),
          h4("Convex Hull geometry and entered features"),
          plotOutput('graf2',width="40%"),
          h4("Graphical Results for Spatial Density of features"),
          plotOutput('grafD',width="40%")
        ),
        align="center"),
      tabPanel("Code",
        wellPanel(
          withMathJax(),
          includeMarkdown("code.Rmd")
        )
      )
    ),
    width = 12))
)

```

Anexo III: Tabla con los valores calculados por Le Corvec et al. (2013)

Nombre	N	Ri	R2s	R.2s	ci	c2s	c.2s
Abu	42	1.07	1.27	0.88	0.88	3.22	-1.46
Al-Haruj	435	1.02	1.08	0.97	0.78	2.89	-1.34
Al-Haruj N	249	1.03	1.1	0.95	0.8	2.94	-1.33
Al-Haruj S	186	1.03	1.12	0.95	0.82	2.97	-1.32
Armenia	152	1.04	1.13	0.94	0.84	2.99	-1.32
Auckland	49	1.07	1.24	0.89	0.88	3.22	-1.45
Boring	88	1.05	1.18	0.92	0.86	3.07	-1.34
Camargo	340	1.02	1.08	0.96	0.78	2.91	-1.34
Chainedes Puys	107	1.04	1.15	0.93	0.85	3.02	-1.31
Chainedes Puys	141	1.04	1.14	0.94	0.84	3	-1.31
Chichinatzin	181	1.03	1.12	0.95	0.83	2.97	-1.32
Dariganga	204	1.03	1.11	0.95	0.82	2.96	-1.32
EastEifel	54	1.06	1.23	0.9	0.88	3.2	-1.44
Eifel	224	1.03	1.1	0.95	0.81	2.95	-1.33
EsSafa	185	1.03	1.12	0.95	0.82	2.97	-1.32
Etna	135	1.04	1.14	0.94	0.84	3	-1.31
Jaraguay	216	1.03	1.11	0.95	0.81	2.95	-1.32
Jeju	314	1.02	1.09	0.96	0.78	2.91	-1.35
Kula	79	1.05	1.19	0.92	0.87	3.1	-1.37
PaliAike	467	1.02	1.07	0.97	0.77	2.89	-1.34
Pinacate	453	1.02	1.07	0.97	0.78	2.89	-1.34
Potrillo	158	1.04	1.13	0.94	0.83	2.99	-1.32
Pre-Chaine des Puys	28	1.09	1.34	0.85	0.89	3.27	-1.48
San Borja	280	1.03	1.09	0.96	0.79	2.92	-1.34
San Francisco	360	1.02	1.08	0.96	0.78	2.91	-1.34
Santa Clara	81	1.05	1.19	0.92	0.87	3.1	-1.36
Santa Ignacio	144	1.04	1.14	0.94	0.84	2.99	-1.31
Snake River	507	1.02	1.07	0.97	0.77	2.88	-1.34
Snake River North	67	1.06	1.21	0.91	0.87	3.15	-1.4
Snake River South	440	1.02	1.08	0.97	0.78	2.89	-1.34
South Auckland	92	1.05	1.17	0.93	0.86	3.05	-1.33
Springerville	359	1.02	1.08	0.96	0.78	2.91	-1.34
St Michael	84	1.05	1.18	0.92	0.86	3.08	-1.36
Todra	142	1.04	1.14	0.94	0.84	3	-1.31
West Eifel	170	1.03	1.12	0.95	0.83	2.98	-1.32
Xalapa	59	1.06	1.22	0.9	0.88	3.18	-1.43
Yucca Mountain	39	1.08	1.28	0.87	0.88	3.23	-1.46